



**Escuela Superior de Ingenieros Industriales
Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos
Universidad de Málaga**

TESIS DOCTORAL

*Análisis del efecto del caudal del primario en instalaciones
solares térmicas para producción de ACS*

Autor: Francisco Plaza Gomariz

Directores: José Manuel Cejudo López y Fernando Domínguez Muñoz


Málaga, 2019





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

AUTOR: Francisco de Asis Plaza Gomariz

 <http://orcid.org/0000-0002-7899-8718>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es

*A mis padres,
a Pablo y a Cristina,
y a Curro, mi futuro hijo.*

Os lo debo todo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que, de un modo u otro, me han ayudado en la realización de esta tesis. En especial:

- A mis directores de tesis, José Manuel Cejudo López y Fernando Domínguez Muñoz, por todo lo que he aprendido con vosotros y por haberme sabido guiar hasta el final.
- A mí amigo, el profesor Alberto Fernández Gutiérrez, por animarme siempre a seguir adelante.
- A toda mi familia y amigos, por el tiempo que me habéis prestado.

Muchas gracias.

ÍNDICE

GLOSARIO DE TÉRMINOS	4
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABLAS	9
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Las instalaciones solares térmicas de baja temperatura.....	11
1.1.1. Variables de diseño en instalaciones solares térmicas para calentamiento de ACS	13
1.1.2. Futuro de las instalaciones solares térmicas	14
1.2. Tecnología actual del sector solar térmico.....	17
1.2.1. Captadores solares planos. Absorbedores.....	17
1.2.2. Acumuladores e interacumuladores solares.....	19
1.2.3. Intercambiadores de calor de placas planas	20
1.2.4. Bombas circuladoras solares	20
1.2.5. Control y regulación de IST	21
1.3. Normativa aplicable	23
1.4. Parámetros de diseño típicos. Caudales y saltos térmicos nominales	24
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	25
2.1. Fundamentos teóricos	25
2.1.1. Transferencia de calor en el interior del absorbedor de captadores solares térmicos planos.....	25
2.1.2. La estratificación térmica en los acumuladores	27
2.1.3. Intercambiadores de calor en IST para calentamiento de ACS	30
2.1.4. Funcionamiento de IST en modo low-flow.....	32
2.1.5. Pérdidas de carga hidráulicas y punto de trabajo en IST	32
2.2. Estado de la cuestión	34
2.2.1. Introducción. Trabajos previos	34
2.2.2. Análisis comparativo entre distintos métodos de ensayo de eficiencia	35
2.2.3. Estudio de la incertidumbre en los ensayos de eficiencia de captadores solares	35
2.2.4. Estudio sobre la importancia de la estratificación en IST	36
2.2.5. Efecto del desequilibrio hidráulico en el funcionamiento de IST	37
2.2.6. Análisis del funcionamiento de IST que trabajan con bajo caudal	39
2.2.7. Carencias encontradas	40
2.3. Objetivos de la investigación	41
3. METODOLOGÍA.....	43
3.1. Introducción. Definición de las fases de trabajo realizadas.....	43
3.1.1. Preparación del banco de ensayos	43
3.1.2. Pruebas y calibración de sensores y datalogger	43
3.1.3. Realización de ensayos de rendimiento térmico en estado estacionario	44

3.1.4. Tratamiento de datos de ensayo	45
3.1.5. Ajuste MLR y obtención de los coeficientes característicos de las curvas de eficiencia.....	45
3.1.6. Propagación de la incertidumbre de ensayo	46
3.1.7. Obtención de curvas de ensayo para distintos caudales y por cada captador	46
3.2. Presentación de componentes utilizados. Dotación del banco de ensayos y captadores	46
3.2.1. Banco de ensayos	47
3.2.2. Planta termostadora.....	50
3.2.3. Sondas de temperatura.....	51
3.2.4. Caudalímetros	52
3.2.5. Piranómetros	53
3.2.6. Anemómetro	54
3.2.7. Datalogger	54
3.2.8. Captadores solares térmicos ensayados	55
3.3. Ensayos de rendimiento térmico según el método de estado estacionario de la norma EN12975-2:2006	57
3.3.1. Realización del método de ensayo en estado estacionario	57
3.3.2. Montaje de los captadores y localización	58
3.3.3. Medida de la radiación solar	58
3.3.4. Medida de temperaturas	59
3.3.5. Medida de caudal.....	59
3.3.6. Medida de la velocidad del aire.....	60
3.3.7. Medida del intervalo de tiempo e instrumentación para el registro de datos	60
3.3.8. Medida del área del captador.....	60
3.4. Instalación de ensayos	61
3.5. Procedimiento de ensayo en estado estacionario al exterior	62
3.5.1. Preacondicionamiento del captador	62
3.5.2. Procedimiento de ensayo.....	65
3.6. Cálculo del rendimiento del captador.....	72
3.7. Ajuste MLR. Obtención de los valores de la curva característica de ensayo	73
3.8. Propagación de incertidumbre.....	78
3.8.1. Tipos de incertidumbre.....	78
3.8.2. Estimación de las fuentes de incertidumbre existentes	79
3.8.3. Cálculo y propagación de incertidumbres.....	80
3.9. Efecto de la incertidumbre en los resultados de ensayo	83
3.10. Simulación de instalaciones solares térmicas con las curvas de rendimiento obtenidas experimentalmente tras la propagación de incertidumbre	85
4. RESULTADOS OBTENIDOS	93

4.1. Comparativa entre curvas de rendimiento según caudal circulante y según tipo de absorbedor.....	93
4.2. Resultados de simulaciones anuales en Acsol 2.5	95
4.3. Estudio económico. Costes y retorno de la inversión para cada tipo de sistema seleccionado	100
5. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO	107
5.1. Conclusiones principales obtenidas. Aportaciones	107
5.1.1. La importancia del caudal del circuito primario.....	107
5.1.2. Diferencias de funcionamiento debidas a la configuración hidráulica del absorbedor	108
5.1.3. Validez del método de ensayo estacionario para la comparación de captadores.....	108
5.2. Otras aportaciones	109
5.2.1. Determinación de caudales óptimos para IST de preparación de ACS	109
5.2.2 Idoneidad de trabajar con caudal variable en el circuito primario según el uso de la IST	110
5.3. Líneas de investigación futuras	112
6. REFERENCIAS	113
7. ANEXOS	117

GLOSARIO DE TÉRMINOS

a	Precisión de medida de instrumento
A_{int}	Área útil del intercambiador, (m^2)
A_u	Área de captación útil, (m^2)
C_p	Calor específico ($J/kg \cdot K$)
C_b	Conductancia térmica de la unión aleta-tubos del absorbedor, ($W/m \cdot K$)
C_{min}	Capacidad calorífica, (J/K)
D	Diámetro exterior de distribuidores o de montantes del captador, (m)
D_i	Diámetro interior de montantes del captador, (m)
DTLM	Diferencia de temperaturas media logarítmica representativa, ($^{\circ}C$)
$E_{alm\ acum}$	Energía almacenada en el acumulador, (kJ)
$E_{ext\ acum}$	Energía extraída en la descarga del acumulador, (kJ)
f	Factor de pérdidas de Darcy o Fracción solar anual de la IST, (%)
F	Factor de eficiencia térmica de una aleta del captador
F'	Factor de eficiencia del captador
F_R	Factor de evacuación del calor del captador
F_U	Factor de utilización de la IST, (%)
g	Gravedad, (m/s^2)
G_d	Irradiancia difusa sobre superficie de captación, (W/m^2)
G_T	Irradiancia total sobre superficie de captación, (W/m^2)
h_{fi}	Coeficiente convectivo entre tubería y fluido caloportador, ($W/m^2 \cdot K$)
H	Altura del acumulador, (m)
k	Factor de cobertura estadístico
k_i	Factor de pérdidas hidráulicas en accesorios
k_1	Coeficiente lineal de pérdidas térmicas del captador, ($W/m^2 \cdot K$)
k_2	Coeficiente cuadrático de pérdidas térmicas del captador, ($W/m^2 \cdot K^2$)
L	Longitud de tuberías, (m)
\dot{m}	Flujo másico, (kg/s)
\dot{m}_d	Flujo másico de descarga del acumulador, (kg/s)
M_{HEAT}	Masa de fluido entrante al acumulador desde captadores, (kg)
M_{LOAD}	Masa de fluido entrante al acumulador desde demanda, (kg)
M_t	Masa total de fluido en el acumulador, (kg)
n	Número de valores de la muestra estadística
Nu	Número de Nusselt
P_{loc}	Caída de presión por pérdidas hidráulicas localizadas, (m.c.a.)
Q	Caudal de descarga en acumulador, (m^3/s)
\dot{Q}_{cap}	Flujo de energía aportada al fluido caloportador por captadores, (W)
\dot{Q}_{int}	Flujo de calor intercambiado en el intercambiador, (W)
$\dot{Q}_{int\ max}$	Flujo de calor máximo ideal intercambiado en el intercambiador, (W)
\dot{Q}_{prod}	Flujo de energía aportado al fluido por el captador durante el ensayo, (W)
\dot{Q}_{sol}	Flujo de energía incidente en el captador durante el ensayo, (W)
R^2	Coeficiente de determinación
Re	Número de Reynolds
Ri	Número de Richardson
r_s	Radio del tubo estratificador del acumulador, (m)
T^*	Temperatura media reducida, ($m^2\ K/W$)
t_a	Temperatura del aire ambiente, ($^{\circ}C$)
t_{in}	Temperatura de entrada del fluido al captador, ($^{\circ}C$)
t_m	Temperatura media del fluido dentro del captador, ($^{\circ}C$)
t_{out}	Temperatura de salida del fluido del captador, ($^{\circ}C$)
T_{bottom}	Temperatura en la zona inferior del acumulador, ($^{\circ}C$)
T_{in}	Temperatura del agua de entrada al acumulador, ($^{\circ}C$)
T_{c1}	Temperatura de entrada fluido primario en intercambiador, ($^{\circ}C$)

T_{c2}	Temperatura de salida fluido primario en intercambiador, ($^{\circ}\text{C}$)
T_{f1}	Temperatura de entrada fluido secundario en intercambiador, ($^{\circ}\text{C}$)
T_{f2}	Temperatura de salida fluido secundario en intercambiador, ($^{\circ}\text{C}$)
T_{start}	Temperatura del fluido en el acumulador antes de la descarga, ($^{\circ}\text{C}$)
T_{top}	Temperatura en la zona superior del acumulador, ($^{\circ}\text{C}$)
u	Incertidumbre de medida
U_{back}	Coeficiente de pérdidas térmicas posteriores del captador, ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
U_{edge}	Coeficiente de pérdidas térmicas laterales del captador, ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
U_L	Coeficiente global de pérdidas térmicas del captador, ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
U_{int}	Coeficiente global de transferencia del intercambiador, ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
U_{top}	Coeficiente de pérdidas térmicas por la cubierta del captador, ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
v	Velocidad del fluido, (m/s)
V_{ac}	Volumen del acumulador o interacumulador, (l)
v_s	Velocidad media del fluido en el estratificador del acumulador, (m/s)
W	Distancia entre tubos verticales del absorbedor, (m)
β	Coeficiente de expansión térmica, ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
ΔP	Caída de presión en circuito de tuberías, (m.c.a.)
ΔP_{esp}	Pérdidas de carga específicas en equipos, (m.c.a.)
Δt	Paso de tiempo, (s)
ΔT_e	Diferencia de temperaturas ($T_{c1}-T_{f1}$), ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_s	Diferencia de temperaturas ($T_{c2}-T_{f2}$), ($^{\circ}\text{C}$)
ε_t	Rugosidad absoluta del material de las tuberías, (mm)
η	Rendimiento térmico
η_d	Eficiencia de descarga de acumulador
η_0	Rendimiento óptico del captador
μ	Viscosidad absoluta, ($\text{Pa}\cdot\text{s}$). Valor medio estadístico de muestras
σ	Desviación típica
τ_{α}	Coeficiente transmisividad cubierta-absortividad placa absorbidora
ϑ	Temperatura de referencia para propiedades, del agua ($^{\circ}\text{C}$)

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Ejemplo de IST para calentamiento de ACS
- Figura 1.2.** Ejemplo de equipo compacto termosifón. Fuente: Pinterest
- Figura 1.3.** Evolución anual de la superficie de captadores solares instalada en la UE, en m². Fuente: EurObserv'ER
- Figura 1.4.** Ejemplo de instalación solar térmica para red de distrito. Fuente: solarheateurope.eu
- Figura 1.5.** Vistas seccionadas para los captadores solares parrilla y serpentín. Fuente: Buderus
- Figura 1.6.** Termografía infrarroja durante carga de un interacumulador de carga estratificada y vista seccionada. Fuente: Tisun
- Figura 1.7.** Intercambiadores de calor externos de placas. A la izquierda modelo soldado, derecha modelo desmontable. Fuente: Alfa-Laval
- Figura 1.8.** Modos de funcionamiento predefinidos y potencias para una bomba circuladora de alta eficiencia. Fuente: Grundfos
- Figura 1.9.** Centralita solar de última generación con salida PWM. Fuente: Resol
- Figura 2.1.** Distintos grados de estratificación térmica en un mismo acumulador de ACS
- Figura 2.2.** Nomenclatura identificativa de temperaturas en el intercambiador de calor típico de una IST
- Figura 2.3.** Punto óptimo de trabajo para la bomba circuladora Grundfos Alpha Solar 25-75 130
- Figura 3.1.** Banco de ensayos utilizado durante la investigación
- Figura 3.2.** Puntero solar para la medición del ángulo de incidencia en plano de captación
- Figura 3.3.** Esquema de principio del circuito hidráulico existente en el banco de ensayos
- Figura 3.4.** Válvula de equilibrado estático de caudal TA HYDRONICS STAD 25
- Figura 3.5.** Visores de líquido, sondas, purgadores y llaves de corte conectados a crucetas de 3/4"
- Figura 3.6.** Planta termostatadora LAUDA T4600
- Figura 3.7.** Sonda PT100 4 hilos clase 1/10

- Figura 3.8.** Calibración conjunta de sondas PT100 en baño de calibración JULABO F20
- Figura 3.9.** Registro temporal de las 5 sondas PT100 en baño de calibración JULABO F20
- Figura 3.10.** Regleta de conexiones, paso calibrado y cabezal de los caudalímetros instalados
- Figura 3.11.** Piranómetros instalados. Superior con disco solar para medida de G_d
- Figura 3.12.** Anemómetro VAISALA WAA151
- Figura 3.13.** Sensores y cableado conectados para prueba de datalogger AGILENT 34970A
- Figura 3.14.** Captadores solares ensayados. Izquierda tipo parrilla, derecha, serpentín
- Figura 3.15.** Ubicación de la sonda para medida de temperatura ambiente exterior
- Figura 3.16.** Valores registrados rendimiento térmico para las temperaturas medias reducidas de todos los ensayos, obtenidos durante la etapa de menor temperatura. (T20US parrilla y T20MS serpentín)
- Figura 3.17.** Valores registrados para un ensayo de 120 l/h en captador tipo serpentín
- Figura 3.18.** Diagrama de flujo para algoritmo de búsqueda y comprobación de estados estacionarios de etapas de registro
- Figura 3.19.** Producción energética de cada captador ensayado para un caudal de 140 l/h y una radiación solar global de 1.000 W/m²
- Figura 3.20.** Espacio definido por las 3 columnas de la matriz de datos de ensayo, puntos de rendimiento registrados y plano de regresión lineal múltiple
- Figura 3.21.** Coeficientes de determinación R^2 para todos los rendimientos térmicos registrados en todos los ensayos realizados, para cada tipo de captador, parrilla en color negro y serpentín en color rojo
- Figura 3.22.** Curva de rendimiento obtenida en ajuste MLR frente a puntos de rendimiento registrados para ensayo a 100 l/h en captador tipo serpentín
- Figura 3.23.** Regiones según régimen de flujo interno en tubos verticales del absorbedor tipo parrilla para las condiciones existentes durante todos los ensayos
- Figura 3.24.** Regiones según régimen de flujo interno en el único tubo del absorbedor tipo serpentín para las condiciones existentes durante todos los ensayos
- Figura 3.25.** Secuencia de propagación de incertidumbres de medida hacia coeficientes de curva de eficiencia obtenida en ensayo
- Figura 3.26.** Superposición de la curva de eficiencia calculada en el análisis MLR con los valores de rendimiento registrados durante el ensayo

afectados por su incertidumbre, para captador tipo serpentín, a 100 l/h y con una radiación de 1.000 W/m²

- Figura 3.27.** Comparativo de curvas de eficiencia límites para los dos caudales límite ensayados en el captador tipo serpentín, con una radiación de 1.000 W/m²
- Figura 3.28.** Comparativo de curvas de eficiencia límites entre los dos tipos de captador ensayado para los caudales límite ensayados y una radiación de 1.000 W/m²
- Figura 3.29.** Esquema de principio de las IST para calentamiento de ACS simuladas
- Figura 3.30.** Curvas de rendimiento utilizadas en las simulaciones por tipo de captador y caudal
- Figura 3.31.** Curvas de pérdida de carga en función del caudal para captadores tipo serpentín del fabricante Buderus. 1) Modelos verticales, 2) modelos horizontales. Fuente: Buderus
- Figura 3.32.** Valores para temperaturas de entrada del circuito primario y secundario del intercambiador en cada caso de estudio
-
- Figura 4.1.** Comparativa de curvas de ensayo para cada caudal y captador ensayado, para una radiación de 1.000 W/m²
- Figura 4.2.** Curvas de rendimiento obtenidas para los distintos caudales de ensayo en captador tipo parrilla, para una radiación de 1.000 W/m²
- Figura 4.3.** Curvas de rendimiento obtenidas para los distintos caudales de ensayo en captador tipo serpentín, para una radiación de 1.000 W/m²
- Figura 4.4.** Valores medios anuales simulados para cada caso en la IST de la residencia de estudiantes
- Figura 4.5.** Valores medios anuales simulados para cada caso en la IST del edificio de viviendas
- Figura 4.6.** Horas de funcionamiento anuales obtenidas para cada tipo de IST simulada
- Figura 4.7.** Valores de fracción solar mensual para cada caso simulado
- Figura 4.8.** Valores de rendimiento de captación mensual para cada caso simulado
- Figura 4.9.** Valores de factor de utilización mensual para cada caso simulado
- Figura 4.10.** Diagrama de Sankey con flujos de energía para el caso de la residencia de estudiantes, captadores tipo parrilla y caudal bajo
- Figura 4.11.** Desglose de costes por sistema para cada combinación de caudal y tipo de captador en la residencia de estudiantes
- Figura 4.12.** Desglose de costes por sistema para cada combinación de caudal y tipo de captador en el edificio de viviendas
- Figura 4.13.** Demanda energética mensual para cada tipo de IST simulada

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1.	Calendario de ensayos e histórico de acciones en banco de ensayos
Tabla 3.2.	Comparativa entre la precisión requerida para los sensores por la norma EN12975 y la instalada en el banco de ensayos
Tabla 3.3.	Variables registradas cada 5 segundos por cada sensor conectado a los canales del datalogger
Tabla 3.4.	Especificaciones técnicas de los 2 captadores ensayados
Tabla 3.5.	Lista de ensayos para captadores solares térmicos según norma EN12975-2:2006
Tabla 3.6.	Horas de comienzo y final de cada etapa de ensayo
Tabla 3.7.	Variación del ángulo de incidencia inicial, $\Delta\theta_{\text{INIC}}$, y final, $\Delta\theta_{\text{FINAL}}$, velocidad media del aire, V_{aire} y porcentaje de radiación difusa, G_d/G_T , para cada etapa de ensayo
Tabla 3.8.	Resumen de temperaturas de entrada medias por etapa y ensayo
Tabla 3.9.	Máximas desviaciones permitidas por EN12975-2:2006 para condiciones de estado estacionario
Tabla 3.10.	Valores de coeficiente de determinación R^2 , número de muestras totales, n_{total} , y coeficientes característicos de curva de rendimiento obtenidos para todos los ensayos
Tabla 3.11.	Incertidumbres asociadas a cada variable de medida de ensayo
Tabla 3.12.	Relación entre los valores de la matriz final y las incertidumbres y covarianzas de los resultados de ensayo tras propagar la incertidumbre de medida
Tabla 3.13.	Relación de casos de estudio para la simulación
Tabla 3.14.	Valores para los coeficientes de las curvas de rendimiento simuladas con cada captador y caudal
Tabla 3.15.	Valores para la selección de las bombas circuladoras en cada caso de estudio simulado
Tabla 3.16.	Valores para la selección de los intercambiadores de placas de cada caso de estudio simulado
Tabla 3.17.	Valores para la selección de acumuladores en cada caso de estudio simulado
Tabla 3.18.	Datos comunes para simulación en Acsol 2.5 de los 2 casos de estudio
Tabla 3.19.	Datos específicos para simulación en Acsol 2.5 entre los 2 casos de estudio
Tabla 4.1.	Resumen de valores obtenidos en cada simulación realizada en Acsol 2.5

- Tabla 4.2.** Resumen de costes iniciales para cada caso simulado en la residencia de estudiantes
- Tabla 4.3.** Resumen de costes iniciales para cada caso simulado en el edificio de viviendas
- Tabla 4.4.** Resumen de costes de amortización para cada caso simulado
- Tabla 4.5.** Resumen de estudio comparativo de amortizaciones entre parrilla y serpentín, con bajo caudal, para caso de residencia de estudiantes

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Las instalaciones solares térmicas de baja temperatura

La energía solar garantiza una reserva inagotable de energía para nuestro Planeta, siendo las instalaciones solares térmicas la opción de aprovechamiento de dicha energía con mejor rendimiento para el calentamiento de agua caliente sanitaria, en adelante, ACS. Esto es especialmente relevante en localizaciones con un elevado número de horas de sol al año, como ocurre en España, y en particular, en el sur de Andalucía.

El funcionamiento básico de este tipo de instalaciones es sencillo. Lleva siendo el mismo desde hace más de 4 décadas, habiendo cambiado únicamente la tecnología de fabricación y las calidades de los materiales existentes para su funcionamiento, lo que, sin duda, contribuye a hacerla más eficiente. Además, hoy día existe una base sólida en cuanto al conocimiento de su funcionamiento, dimensionado y averías, así como un amplio marco normativo aplicable, con el que controlar unos niveles de calidad mínimos, encaminados a asegurar que se genere la cantidad de energía requerida en el diseño de la instalación.

Debido al indudable ahorro en emisiones contaminantes que ofrecen este tipo de instalaciones, han sido objeto de fuertes incentivos por parte de la Administración, promocionando su instalación. De este modo se les ayuda a competir con otras tecnologías más contaminantes, pero en las que el consumidor ya tiene depositada su confianza. Estos programas de subvenciones, sin embargo, no siempre han conseguido dejar en el lugar que se merece la opinión que el usuario final tiene sobre la energía solar, pero, indudablemente, han provocado que se instalen muchísimas más instalaciones solares térmicas que si no hubiera existido ayuda alguna.

El funcionamiento de una instalación solar térmica para calentamiento de ACS, en adelante IST, se basa en la circulación de un fluido caloportador, normalmente agua con un porcentaje de anticongelante, a través de captadores solares, donde este es calentado gracias al aprovechamiento de la radiación solar incidente. A continuación, el fluido caliente cede su energía al agua de consumo, lo que se hace en un intercambiador de calor. Estos componentes principales se muestran en la Fig. 1.1.

Para grandes instalaciones, este intercambiador suele ser un equipo externo, constituido por placas planas paralelas, donde los fluidos intercambian calor, pero sin existir mezcla entre los mismos. En instalaciones menores, el intercambio de calor se realiza en intercambiadores helicoidales, sumergidos en el propio volumen de ACS, conociéndose al equipo de acumulación e intercambio como interacumulador. En cualquier caso, el volumen de ACS calentado es almacenado continuamente en un acumulador. Este se conoce como acumulador primario o solar, y permite que exista una reserva de ACS para solucionar el desfase temporal entre la generación de calor útil en los captadores solares y el consumo de ACS.

Desde este acumulador solar, y dependiendo de la normativa reguladora de cada país, el fluido podrá pasar directamente a consumo, recibiendo antes el calor necesario hasta que se alcance la temperatura de preparación de ACS, o, en otros sistemas, se deberá trasladar a otro acumulador secundario, donde también alcanzará la temperatura de preparación de ACS prefijada, que suele ser de 60 °C. En ambos casos la energía necesaria para alcanzar la temperatura de preparación de ACS es suministrada por un equipo auxiliar, (caldera, resistencia por efecto Joule, etc.), siendo consumida energía convencional sujeta a emisiones contaminantes.

La circulación del fluido caloportador se lleva a cabo mediante una bomba circuladora eléctrica, que también consume energía convencional, por lo que es otro consumo residual que, junto con el apoyo auxiliar, debe ser considerado. Para aprovechar al máximo las horas con radiación solar disponible y calentar el agua acumulada, siempre que sea necesario, las IST incorporan una unidad de control, que decide cuándo debe hacerse circular el fluido gracias a la lectura de distintas temperaturas en varios puntos del circuito. Esta sería la configuración típica de una IST forzada para calentamiento de ACS, donde la unidad de control decide cuándo actúan la bomba circuladora y el equipo de apoyo auxiliar. En el caso mostrado en la Fig. 1.1, esto se hace en función de la lectura de 4 sondas de temperatura del sistema.

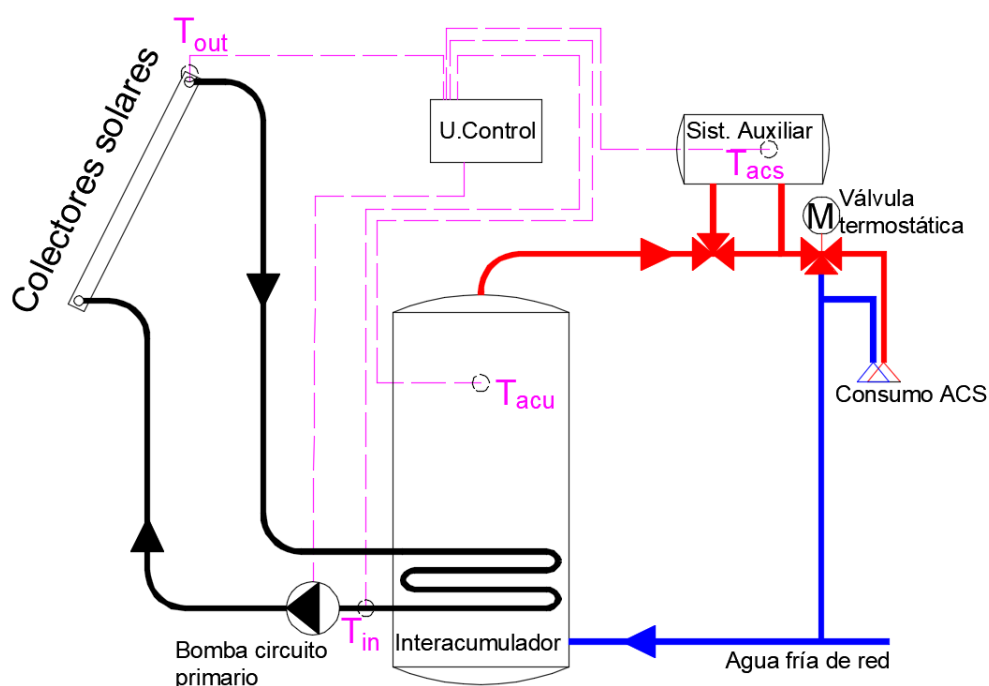


Figura 1.1. Ejemplo de IST para calentamiento de ACS

Para aquellos casos donde existan pequeños consumos de ACS, sobre todo en viviendas unifamiliares situadas en localizaciones con buen nivel de radiación, es posible evitar la necesidad de instalar una bomba circuladora, aprovechando la diferencia de densidades existentes entre fluido caliente y frío del circuito solar. Su único inconveniente es que toda la IST debe quedar ubicada en la misma localización, ya que se aprovecha para incorporar el sistema de intercambio y el de acumulación juntos, en los conocidos como acumuladores de doble envoltente o “*tank in tank*”. Este tipo de sistemas compactos se conoce como equipos termosifón, siendo mostrados en la Fig. 1.2.

Además del gran interés que las IST tienen para calentar ACS, existen otros usos que aceptan de forma muy eficiente esta tecnología, como son el calentamiento de piscinas y el apoyo de calefacción. En este último caso, las viviendas suelen tener instalados sistemas a calefacción de baja temperatura, como suelo radiante o emisores térmicos, con temperaturas de trabajo cercanas a 35 °C. Con los avances tecnológicos y la industria térmica solar existente hoy en Europa, cualquier IST tiene una vida útil que se aproxima a los 25 años. Para ello es necesario que se cumplan unos requisitos mínimos en cuanto a calidad de componentes, dimensionado y, sobre todo, instalación y

mantenimiento. En este sentido es muy importante destacar las distintas normativas aplicables, a cada uno de los niveles anteriores.

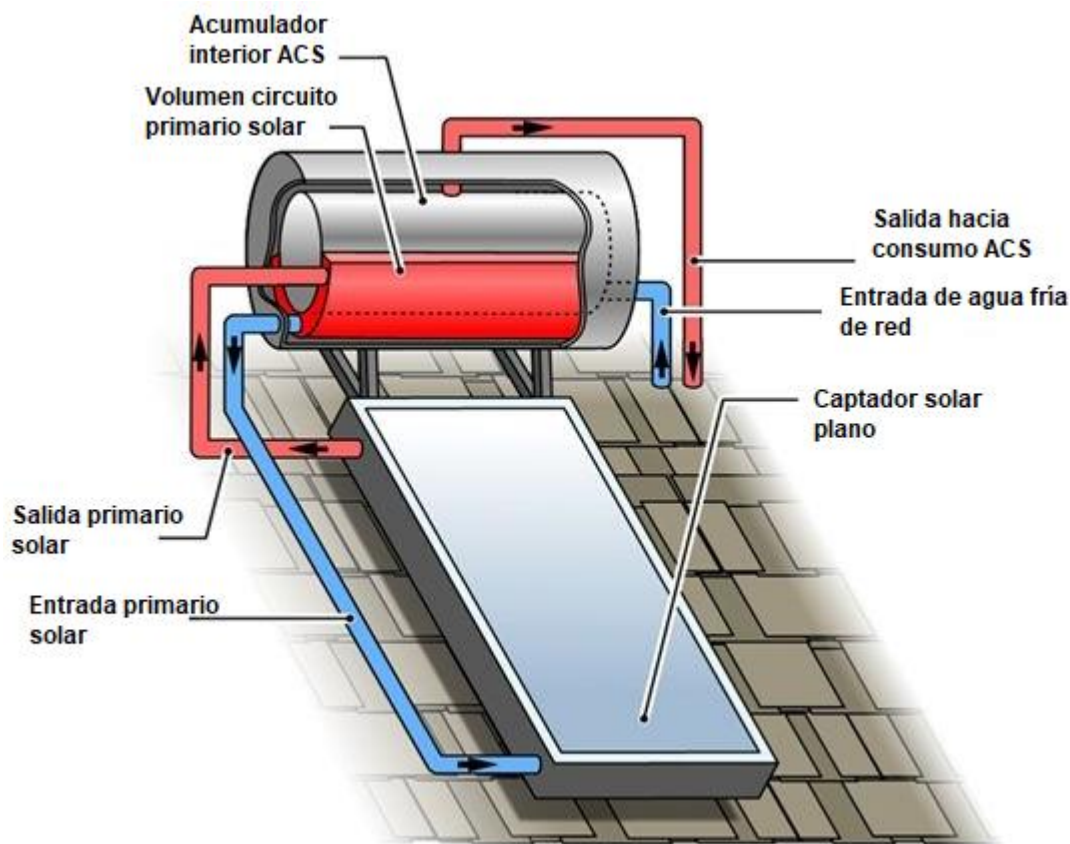


Figura 1.2. Ejemplo de equipo compacto termosifón. Fuente: Pinterest

1.1.1. Variables de diseño en instalaciones solares térmicas para calentamiento de ACS

En cualquier IST, las variables de diseño quedan reflejadas en dos valores, fijados como objetivos finales: fracción solar y factor de utilización. Ambos quedan relacionados con el aporte energético final que producirá la IST.

La fracción solar, f , es el porcentaje de energía aportada por la IST frente a la demanda total de energía requerida para ACS, normalmente referenciada a valores anuales, como se indica en la Ec. 1.1 Este valor suele ser utilizado como referencia para el dimensionado de las IST, siendo típicas las fracciones situadas en el intervalo $60\% < f < 75\%$.

$$f [\%] = \frac{\text{Energía aportada por IST}}{\text{Demanda de ACS}} \quad (1.1)$$

Este es el principal valor que fijan las distintas normativas de aplicación, a modo de requisito mínimo a cumplir por cualquier IST para calentamiento de ACS. El valor mínimo

de f normalmente depende tanto del tipo de energía auxiliar instalada como del recurso solar existente en la zona climática donde se ubique la instalación.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que no solo se precisa producir una cantidad de energía solar, sino que debe hacerse de la forma más eficiente posible, evitando sobredimensionamientos. Para comprobar este aspecto, se hace uso del factor de utilización, FU . Este se define como el cociente entre la energía solar extraída del acumulador y la energía solar total incidente en el plano de captación, como se muestra en la Ec. 1.2. Su interés es evaluar el grado de aprovechamiento energético que tiene el sistema, evitando sobredimensionar el área de captación o el volumen de acumulación.

$$FU [\%] = \frac{\text{Energía extraída del acumulador solar}}{\text{Energía total incidente en plano de captación}} \quad (1.2)$$

Por tanto, el objetivo perseguido al dimensionar una IST eficiente para calentamiento de ACS eficiente es doble: por una parte, se debe alcanzar un aporte energético considerable frente a la demanda total de ACS, y, además, esto debe hacerse seleccionando las distintas variables de los componentes principales de la IST, (captadores, intercambiador y acumulación), de forma que se aproveche al máximo la energía solar captada.

1.1.2. Futuro de las instalaciones solares térmicas

El futuro de las IST descubre un panorama algo incierto, ya que no se ha alcanzado el crecimiento que era de esperar desde su despegue, hace ya 2 décadas. Con esta tendencia, donde el mercado está en caída de ventas desde 2009, no se alcanzarán los objetivos fijados por Europa para esta tecnología renovable.

Para conocer el estado actual en el que se encuentran las IST en Europa, y en España, se pueden consultar los datos que ofrece cada año el consorcio EurObserv'ER, creado en 1999 y que supervisa el desarrollo de los distintos sectores de las energías renovables dentro de la Unión Europea. En el último barómetro de situación de la energía solar térmica durante el año 2017, se estima un decrecimiento en el mercado del 24,2%. Este mercado identifica las instalaciones realizadas tanto de energía solar térmica de baja temperatura como sistemas solares de concentración.

En [Euroobserver, 2018], podemos destacar una superficie total instalada de 51,4 millones de m^2 , destinados únicamente a sistemas solares térmicos de baja temperatura. Si analizamos el mercado de los captadores solares planos, los cuales suponen el 51% de la cuota de mercado actual europeo, Alemania es el país con mayor superficie instalada hasta la fecha, con 573.000 m^2 . A continuación le siguen Grecia, con 312.840 m^2 y España, con 190.666 m^2 . Sin embargo, estas cifras deben analizarse por superficie instalada cada año, para comprobar si el mercado crece o no. En este sentido, como ya se ha adelantado, el sector está en clara decadencia. Esto puede comprobarse en la Fig 1.3, que muestra la superficie anual instalada de captadores solares térmicos de baja temperatura en la UE desde 1994.

Durante el año 2017, la Asociación Solar de la Industria Térmica en España, ASIT, estima que se instalaron 201.505 m^2 de captadores solares en todo el territorio nacional, un 5% menos que el año anterior.

Para explicar el crecimiento y posterior caída de las ventas de captadores solares, existen múltiples causas, y cada país tiene unos condicionantes propios, que normalmente pasan por los distintos cambios normativos en el sector de la edificación y por la gestión y promoción de subvenciones, puntos que no siempre han sido favorables para este sector

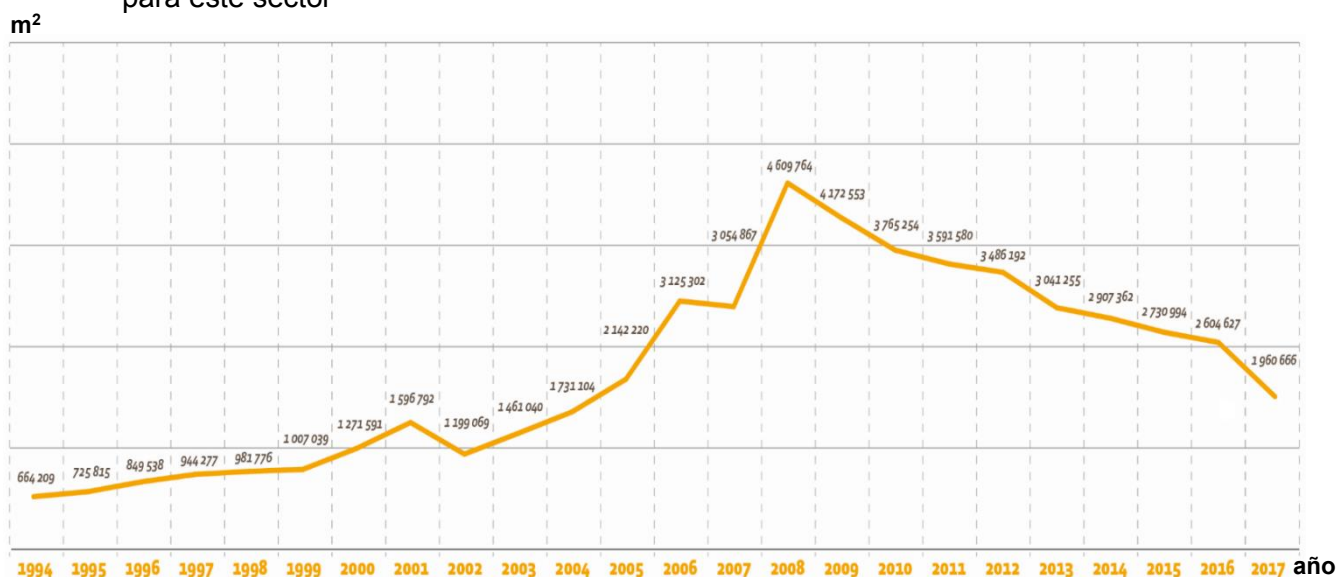


Figura 1.3. Evolución anual de la superficie de captadores solares instalada en la UE, en m². Fuente: EurObserv'ER

En España, esta situación parte de cifras de crecimiento muy optimistas obtenidas para la superficie solar instalada hace varios años, que, indudablemente, fueron promovidas por la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación en el año 2006. Esta Normativa incluyó un Documento Básico de Ahorro Energético, (DB-HE4), que obligaba a utilizar energía solar térmica u otras fuentes renovables para suplir un porcentaje de la demanda de ACS, en edificios de nueva construcción o en reformas de importancia.

Sin embargo, tras el auge del desarrollo urbanístico, donde se instalaron la mayoría de IST existentes, comenzó un descenso del crecimiento inmobiliario, lo que supuso no solo la desaceleración del número de IST instaladas, sino la desaparición de la mayoría de las empresas nacionales destinadas al sector solar térmico. La pérdida del impulso inicial creó un bajo crecimiento que perdura a día de hoy, donde la mayoría de IST son de pequeña envergadura, normalmente para viviendas unifamiliares y, sobre todo, su crecimiento queda sujeto a la existencia de subvenciones.

Andalucía ha encabezado el crecimiento del sector mientras que desde de Administración se han promovido ayudas para la instalación de sistemas solares térmicos: su papel fue clave durante el año 2014 para que nuestro país fuera el primero en revertir la caída de ventas en toda la UE. Esto fue posible gracias a la proliferación de sistemas prefabricados compactos que llegaron a tener un 52 % de cuota de mercado, además de con la aparición de modelos de negocio en los que entraba en juego la financiación del equipo para pagarlo en cuotas mensuales durante varios años. Sin embargo, una vez finalizó el plan PROSOL en Andalucía, las ventas volvieron a caer de forma acusada.

En el sector no residencial, su crecimiento no ha sufrido tantos altibajos, y sigue siendo una opción a tener en cuenta para pequeños hoteles rurales, albergues, campings, polideportivos, etc., pero aun así, debe luchar frente a nuevos competidores con altas eficiencias y reducidas emisiones, como son la biomasa, la aerotermia o las calderas de condensación a gas natural.

Si nos fijamos en el resto de Europa, el mercado se sectoriza claramente. Por una parte, las IST tipo termosifón son de muy amplia instalación en Grecia, Chipre, y otras zonas mediterráneas con climas suaves. Este tipo de IST no requiere altas tecnologías de fabricación y su desarrollo siempre va de la mano de la reducción de costes en la fabricación, encaminados a crear un interés de compra en el consumidor final. En el lado contrario se sitúan países como Dinamarca, Alemania, Austria y Suiza, donde, precisamente, se ubican las empresas punteras del sector. En estos países el interés de la energía solar térmica sigue creciendo, sobre todo para la instalación de grandes superficies de captación que generen energía térmica para acumular grandes volúmenes de agua caliente. Este agua se almacena estacionalmente durante el verano hasta que sea requerida en otoño, para el funcionamiento de sistemas de redes de distrito. La Fig. 1.4 muestra un ejemplo de este tipo de instalaciones.



Figura 1.4. Ejemplo de instalación solar térmica para red de distrito. Fuente: solarheateurope.eu

Debido a que la tendencia en el futuro no puede ser otra que la de reducir al máximo el uso de fuentes energéticas no renovables, la energía solar térmica debería seguirá teniendo un papel clave, sobre todo en regiones con alta radiación solar y en aquellos usos en los que se precise agua caliente a baja temperatura.

Como factores claves para el desarrollo futuro de las IST, podemos citar los siguientes:

- Contribución directa al ahorro de emisiones de CO₂ en el sector residencial.
- Larga vida útil que las hace competitivas frente a instalaciones tradicionales. En Europa este sector tiene un alto grado de especialización y es un referente internacional.
- Su instalación proporciona al consumidor menos sensibilidad frente a los futuros incrementos del coste de la energía.
- Los costes de inversión inicial se han mantenido invariables mucho tiempo, lo que proporciona la capacidad de planificar la inversión con gran tiempo de antelación.
- Posibles ayudas y subvenciones económicas futuras, sobre todo cuando se clasifiquen las viviendas por su certificación energética.

- Bajo coste de mantenimiento y alta seguridad de las instalaciones por no disponer de combustibles fósiles.
- El crecimiento del sector conllevaría la generación de puestos de trabajo específicos en toda la cadena, desde la fabricación de equipos, hasta el mantenimiento, pasando por el dimensionado y la instalación.

En cuanto a las debilidades que pueden frenar el crecimiento de las IST, se encontrarían las siguientes:

- El interés por esta tecnología sigue dependiendo de la existencia de subvenciones. De esta forma, se enmascara si realmente la tecnología es válida por sí misma o no.
- Existencia de muchas IST con equipos de mala calidad, mal dimensionadas o carentes de mantenimiento, lo que supone mayores gastos que beneficios para los usuarios, dando mala imagen de la tecnología.
- Aún se aprecia una falta de conocimientos profundos en el ámbito de las IST, por parte tanto de proyectistas como de instaladores y mantenedores. Se necesita profesionalizar el sector a nivel nacional.
- Competencia con otros tipos de instalaciones. Aún existe un precio muy bajo para fuentes energéticas tradicionales con las que se suele comparar la energía solar térmica, por ejemplo, GLP. Además, si el mercado de la energía fotovoltaica despegue y legalmente existen garantías para aplicar un buen balance entre energía cedida a la red y energía consumida, podría llegar a ser competitivo obtener ACS mediante efecto Joule.
- El impacto visual es elevado. No suele ser la opción preferida por los arquitectos debido a los problemas que conlleva su integración estética en las viviendas.

1.2. Tecnología actual del sector solar térmico

Los componentes de cualquier IST deben cumplir con unos requisitos de calidad mínimos, debido a que todos ellos quedarán sometidos a altas solicitaciones térmicas. Además, todos los componentes tendrán exigencias de durabilidad frente a las condiciones ambientales, siendo resistentes a la intemperie y, en el caso de aquellos componentes que reciban radiación solar directamente, a la radiación UV. Como requisito extra, todo componente en contacto con el fluido garantizará una alta resistencia frente a la corrosión, tanto por la presencia de cal como por la de los pares galvánicos que aparezcan al instalar diferentes materiales en el circuito hidráulico.

A día de hoy, la durabilidad de todos los componentes de una IST está garantizada, por lo que los últimos avances se encaminan a ofrecer unas prestaciones energéticas elevadas, que redunden en el máximo aprovechamiento de la energía solar disponible. A continuación se analizan las características actuales más relevantes en los principales componentes de una IST.

1.2.1. Captadores solares planos. Absorbedores

La energía solar que reciben los captadores solares planos se cede al fluido caloportador en el interior del absorbedor, que se caracteriza por una configuración

hidráulica determinada. Su diseño desempeña un papel decisivo en las prestaciones que tendrá el captador solar, y actualmente, la mayoría de los fabricantes tienen diseños similares. En el mercado existen 2 tipos de absorbedores que se reparten prácticamente la totalidad de las IST, serpentín y parrilla. Existen también absorbedores llamados de área completa, donde el fluido recorre casi el 100% de la superficie del absorbedor, pero sus costes de fabricación son altos, y debido a que se suele fabricar con chapas embutidas, tipo “roll-bond”, las presiones de trabajo deben ser menores a 3 bar, siendo delicada su instalación y funcionamiento frente al estancamiento.

Debido a la importancia de este componente, se fabrican con alta tecnología, utilizando cobre para las tuberías y aluminio para las aletas, independientemente de si son tipo parrilla o tipo serpentín. El espesor de las aletas oscila entre los 0,15 y 0,3 mm mientras que la tubería de cobre en los tubos verticales, conocidos como montantes o *risers*, suele tener un diámetro exterior de 8 a 10 mm. Los tubos distribuidores tienen diámetros comprendidos entre los 18 y los 20 mm. Los montantes se unen con los tubos distribuidores mediante soldadura fuerte con estaño-plata. La soldadura de las aletas a los montantes actualmente se hace por técnica láser o por ultrasonido, creando un absorbedor de lámina completa, siendo esta tecnología la predominante en los grandes fabricantes, y habiendo sustituido al antiguo método de soldadura con estaño en las uniones de aletas y tubos de cobre en mesas calóricas. De hecho, los absorbedores de lámina completa tienen ya mayor cuota de mercado que los absorbedores fabricados con varias aletas individuales. De este modo se reduce el coste de material y se mantienen altas eficiencias, ya que la conductividad térmica del aluminio no es mucho más pequeña que la del cobre, aceptando también recubrimientos selectivos similares al Tinox. Los materiales como el acero, acero inoxidable y galvanizado están en desuso, sobre todo por los problemas de corrosión y pares galvánicos que suelen padecer.

En cuanto a las diferencias entre el diseño tipo parrilla y tipo serpentín, podemos decir que obtienen cifras de mercado similares, aunque el tipo parrilla, por historia, se ha instalado más, sobre todo en España, a pesar de su mayor coste de fabricación. El tipo serpentín es un captador muy recomendado en instalaciones donde se precise el conexionado en paralelo de un gran número de captadores, o donde se desee trabajar expresamente con bajo flujo. La Fig. 1.5 muestra los diseños típicos de estos dos tipos de absorbedor en los captadores selectivos del fabricante BUDERUS.

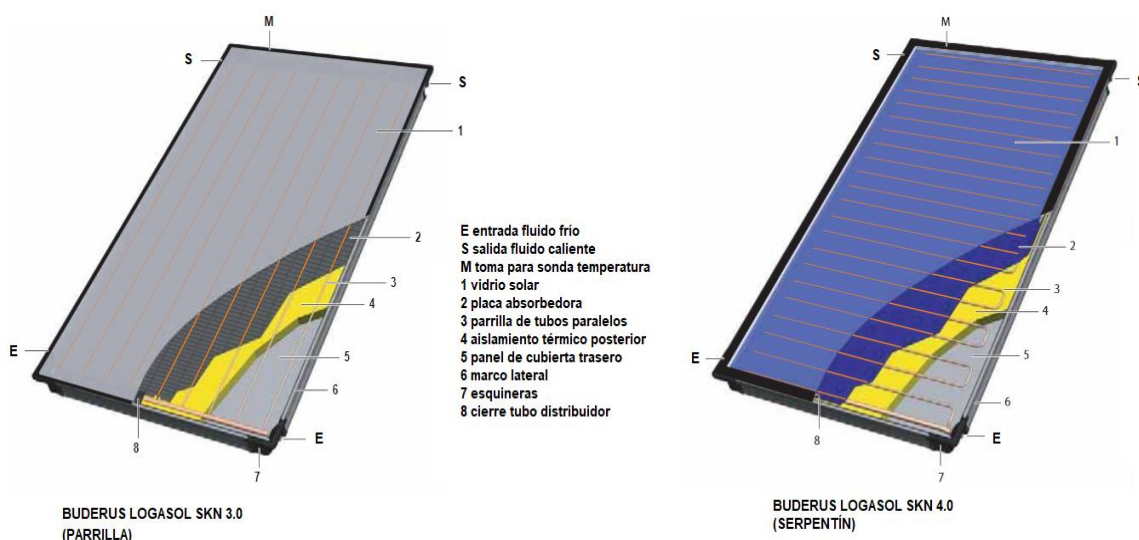


Figura 1.5. Vistas seccionadas para los captadores solares parrilla y serpentín. Fuente: Buderus

1.2.2. Acumuladores e interacumuladores solares

Los acumuladores, como ya se indicó, funcionan como almacén de energía, independizando el suministro de energía útil del consumo de ACS. Su aislamiento depende del periodo de tiempo que deba almacenarse la energía, siendo típico que para preparación de ACS se tengan espesores de aislamiento de 80 mm, tanto de fibra de vidrio como de lana mineral.

El material utilizado en su fabricación puede ser acero negro, pero solo es válido para acumuladores de inercia, o en casos en los que el agua de consumo no va a estar en contacto con este material. Si el agua de consumo se almacena en el acumulador solar, deben instalarse materiales como el acero inoxidable, o aplicar esmaltes como el vitrificado sobre el acero negro.

La tecnología más interesante en el sector de los acumuladores e interacumuladores son los dispositivos para conseguir altos niveles de estratificación gracias al diseño del propio equipo. Existen varios fabricantes que han patentado distintos diseños para aumentar el grado de estratificación en el interior del acumulador y aumentar así los rendimientos de las IST. En la Fig. 1.6 se muestra el acumulador PH-PRO HEAT del fabricante TISUN, donde, al instalarle el módulo intercambiador helicoidal en el lateral, se obtiene una alta estratificación, como se puede comprobar en la imagen realizada mediante termografía infrarroja.

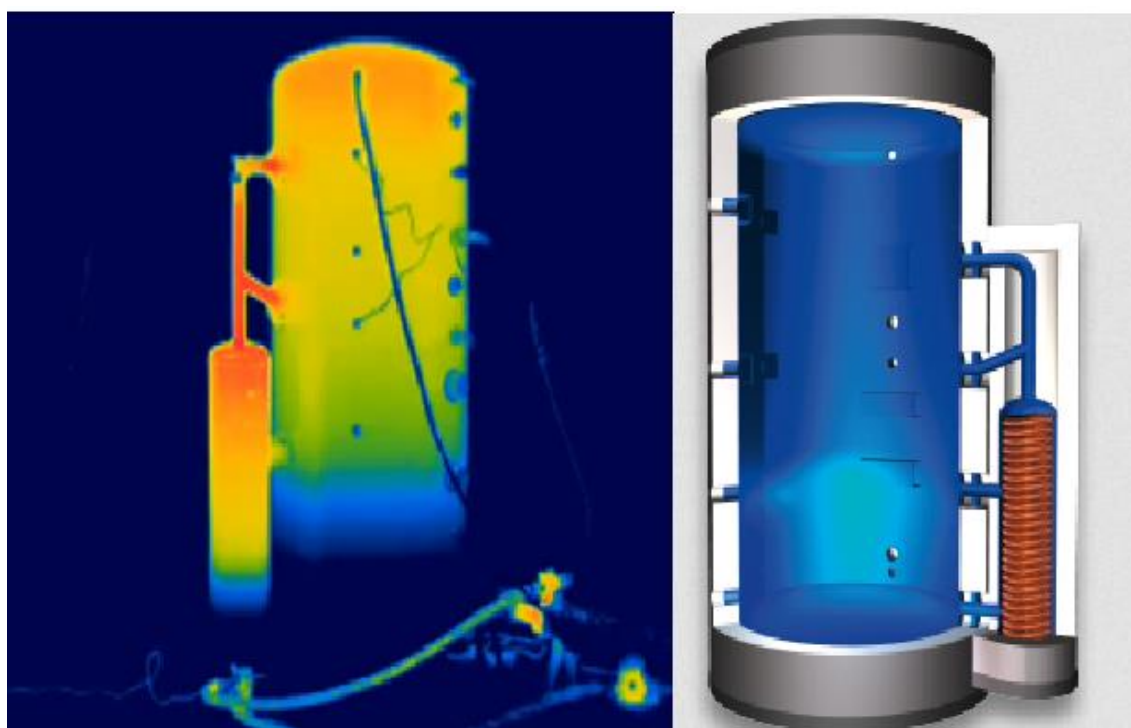


Figura 1.6. Termografía infrarroja durante carga de un interacumulador de carga estratificada y vista seccionada. Fuente: Tisun

1.2.3. Intercambiadores de calor de placas planas

Si el intercambio de calor entre fluido primario y agua de consumo no se realiza en interacumuladores, se instalan intercambiadores externos de placas planas, siendo posible diseñarlos a la carta en los principales fabricantes del sector.

El material típico con el que se suelen fabricar las placas es acero inoxidable, siendo recomendable usar titanio en usos para calentamiento de piscinas, debido a los productos de depuración y cloración utilizados, (aunque es típico que para este uso se utilicen intercambiadores tubulares de carcasa y tubos).

La tecnología actual de los intercambiadores de calor de placas planas presenta la oportunidad de instalar equipos de bajo coste no desmontables, conocidos como equipos soldados, a la vez que siguen existiendo los modelos tradicionales de placas desmontables, unidas mediante juntas de EPDM y presionadas al embridar todo el conjunto mediante tornillos. La Fig. 1.7 muestra ambas variantes de intercambiadores de calor de placas, para el fabricante ALFA LAVAL.



Figura 1.7. Intercambiadores de calor externos de placas. A la izquierda modelo soldado, derecha modelo desmontable. Fuente: Alfa-Laval

1.2.4. Bombas circuladoras solares

Actualmente se ofrecen bombas circuladoras con consumos eléctricos realmente reducidos, fruto de los requisitos de eficiencia que regulan las distintas directivas de eficiencia energética y diseño ecológico promovidas por la UE.

En particular, gracias a la directiva Europea de Productos que Utilizan Energía (EuP), el sistema de Índice de Eficiencia Energética, (EEI), se ha introducido para sustituir la antigua Etiqueta Energética, que clasificaba los productos de la A a G. El índice EEI indica la diferencia entre el consumo anual *Blaue Engel* del producto en cuestión y de un producto típico y similar definido para la directiva. *Blaue Engel* es una etiqueta energética alemana bastante conocida, que mide el consumo de energía de las bombas circuladoras independientes, basado un perfil de carga predefinido, en el que la bomba funciona al 25% de caudal el 44% del tiempo, al 50% el 35% del tiempo, al 75% el 15% del tiempo y al 100% de caudal el 6% restante. Las bombas circuladoras de alta eficiencia suelen disponer de valores $EEI < 0,20$, gracias a la tecnología de control electrónico EC.

Esta tecnología supone también la posibilidad de variar las revoluciones de la bomba, o de predefinir estrategias de bombeo relativas al punto de trabajo: funcionamiento a

presión constante, funcionamiento a presión proporcional, curvas de trabajo predefinidas o incluso, trabajar a distintos caudales según la señal que se emita hacia el equipo de bombeo desde una unidad de control. Típicamente esta comunicación para variar el caudal se hace mediante señales digitales de bajo voltaje PWM, (Pulse Width Modulation), normalizadas por la Asociación de la Industria Mecánica Alemana, en [VDMA, 2014], y aplicable a bombas circuladoras de rotor húmedo, contando con un capítulo especial para usos en IST.

Con la tecnología PWM, también se envía información a la centralita solar sobre las horas de funcionamiento y la potencia instantánea de bombeo, lo que permite evaluar el gasto asociado a bombeo del circuito primario.

En la Fig. 1.8 se muestran los modos de funcionamiento típicos junto con la bomba de alta eficiencia UPM3 de GRUNDFOS. Como se puede comprobar, en toda la gama de tamaños la potencia oscila entre los 25 y los 60 W, valores realmente bajos.

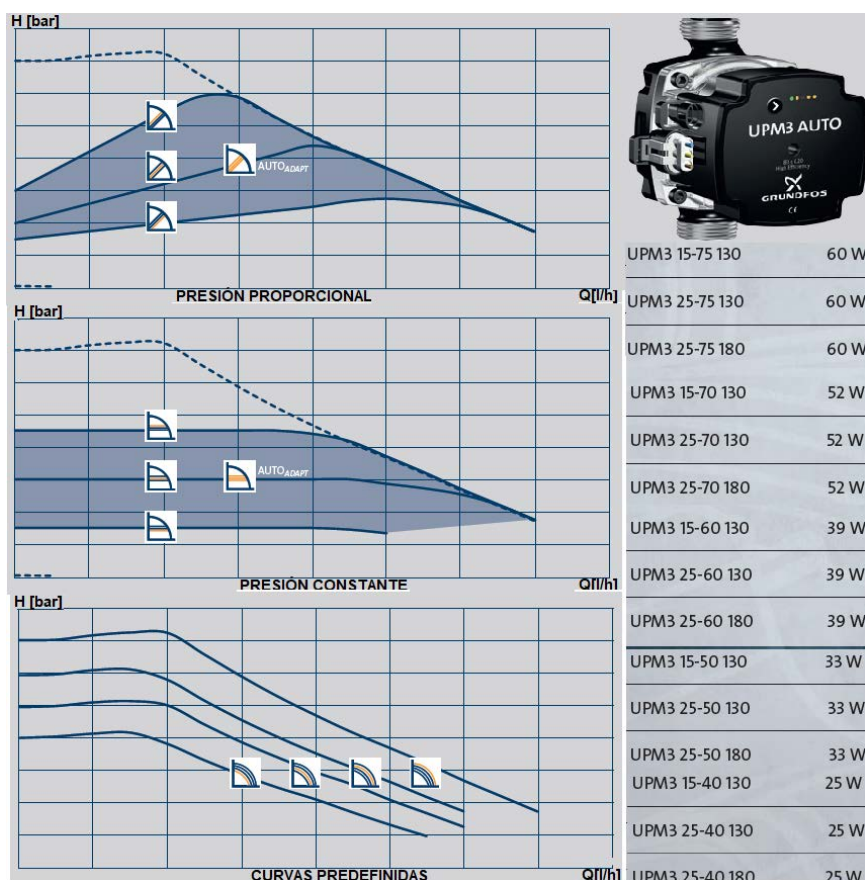


Figura 1.8. Modos de funcionamiento predefinidos y potencias para una bomba circuladora de alta eficiencia. Fuente: Grundfos

1.2.5. Control y regulación de IST

Para que la IST funcione siguiendo una estrategia encaminada a aprovechar al máximo la radiación solar incidente, y a su vez, no haga circular el fluido caloportador cuando no sea recomendable, (ya sea para ahorrar energía en bombeo o reducir las pérdidas térmicas en tuberías), es preciso disponer de un equipo que automatice el control del funcionamiento. Este equipo se suele conocer como centralita de control, y existen diversos tipos, según la cantidad de señales que sean capaces de leer y la cantidad y

tipo de salidas que sean capaces de emitir. Como mínimo, una centralita solar debe decidir el momento en el que arranca la bomba y el momento en el que ésta se detiene. Para ello, precisa únicamente la señal de 2 sondas de temperatura con las que efectúa un control diferencial. Estas sondas básicas quedan situadas a la salida de captadores solares y en la parte baja del acumulador.

Es habitual que las centralitas básicas no sean programables, funcionando con el siguiente esquema diferencial de temperaturas:

- Salto térmico para encendido de la bomba: 7 °C
- Salto térmico para parada de la bomba: 2 °C

En caso de desear mayor maniobrabilidad, y para intervenir en el funcionamiento del sistema aumentando su rendimiento, las centralitas de gama media suelen disponer de entrada para una tercera sonda, que normalmente se coloca en la mitad superior del acumulador solar. Además, se permite graduar los saltos térmicos de arranque y parada de bomba, limitar la temperatura de captadores para evitar el estancamiento o incluso, proteger la instalación frente a heladas.

Las centralitas de última generación, también incorporan varios modos predeterminados de funcionamiento. Con ellos se permite controlar no solo el circuito primario de la IST, sino también el resto de la instalación, decidiendo hacia dónde se cede la energía solar captada, activando mediante salidas de relés válvulas de tres vías, bombas circuladoras y de recirculación, apoyos energéticos auxiliares, etc. Incluso, es habitual encontrar modelos que permiten el funcionamiento de varios circuitos primarios con distinta orientación, evitar los arranques intermitentes en las primeras horas de sol, o, como ya se ha visto anteriormente, comunicarse mediante señal PWM con la bomba y determinar la velocidad de giro de ésta, a la vez que se conoce su consumo energético.

Estas centralitas pueden quedar integradas en el sistema de control del edificio mediante protocolos como eBUS, BACnet, o registrar todas las variables de funcionamiento a modo de datalogger, conectándose mediante cable Ethernet a la nube, o grabando los registros en soportes electrónicos. Esto es de especial interés en el caso de instalar contadores de calorías. La Fig. 1.9 muestra una centralita de última generación del fabricante RESOL, junto con varios modos predefinidos de funcionamiento y el cuadro de entradas y salidas.

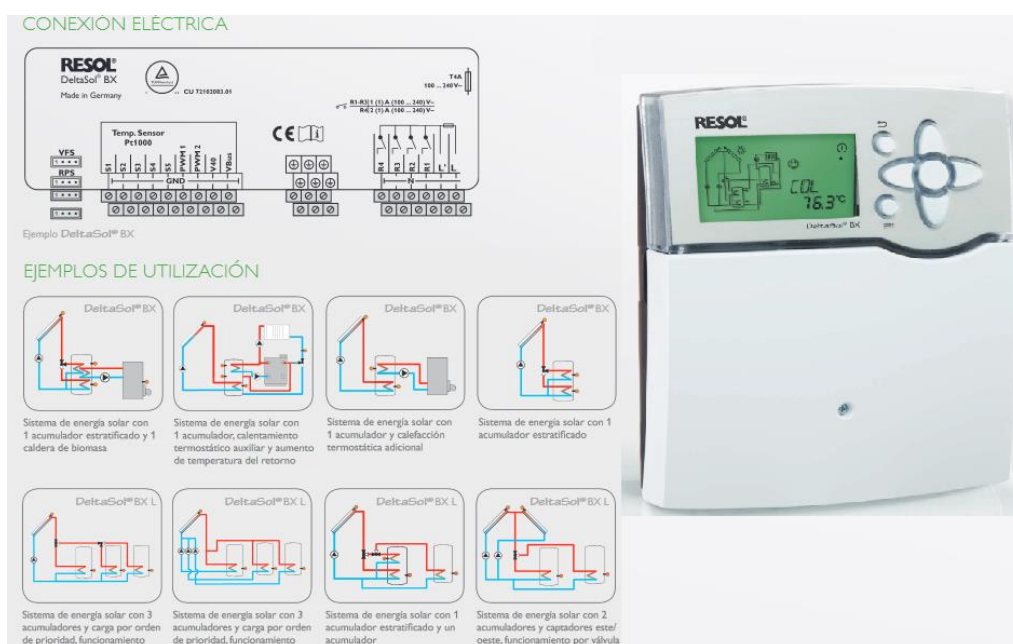


Figura 1.9. Centralita solar de última generación con salida PWM. Fuente: Resol

1.3. Normativa aplicable

En España, existe una variada y completa normativa de aplicación para las IST, tanto en la fase inicial de diseño, como en la posterior fase de instalación y mantenimiento de éstas. Desde que entrara en vigor en el año 2006, el Código Técnico de la Edificación incluye un Documento Básico HE-4 para el Ahorro de la Energía, que incluye un apartado para la Contribución Solar Mínima de Agua Caliente Sanitaria. Además, con la publicación de la Convocatoria de Ayudas para la Promoción de Instalaciones de Energía Solar Térmica, en el ámbito del Plan de Energías Renovables durante el periodo 2005-2010, se publicó el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, [IDAE, 2009], cuya finalidad fue la de establecer las condiciones técnicas que debían tomarse en consideración dentro de las instalaciones promovidas por dicho plan.

En el Documento Básico HE-4, el proyectista puede cuantificar qué cantidad de energía térmica para ACS deberá aportar la IST, en base a criterios de la zona climática de estudio y del valor de la demanda de ACS del edificio. Para ello, se ofrecen tablas con las que se calcula una fracción solar mínima que deberá aportar la IST, en base tanto al consumo de ACS según el tipo de edificio estudiado, para una temperatura de referencia de 60°C, como a la zona climática donde se ubique la IST, existiendo un total de 5. Para el dimensionado, el factor más interesante ofrecido es el ratio entre la superficie de captación, A_u , y el volumen de acumulación primario, V_{ac} , que debe quedar dentro de los límites $50 \text{ [l/m}^2\text{]} < V_{ac}/A_u < 180 \text{ [l/m}^2\text{]}$. De esta forma, existe una limitación en cuanto al tamaño del campo de captadores, una vez se conoce el volumen de ACS que se va a necesitar.

Por otra parte, el IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, presenta en [IDAE, 2009], unas condiciones técnicas mínimas para que las IST cumplan con los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad. Este es un documento mucho más completo que [CTE, 2017], y como todo pliego de condiciones técnicas, tiene una gran utilidad para el proyectista. Este documento, en su Anexo XI recomienda como método de cálculo de la fracción solar anual el método basado en las curvas de f-Chart, ofreciendo una ligera guía para su aplicación.

Para el apartado de instalación y mantenimiento de IST, es de aplicación lo indicado en [CTE, 2017], Rendimiento de las Instalaciones Térmicas, el cual se publica como Real Decreto, siendo su última actualización la que se encuentra en [RITE, 2013].

Finalmente, cualquier IST debe disponer de captadores solares homologados por un laboratorio de ensayo acreditado, donde se realizarán los distintos ensayos que establecen en [EN12975, 2006], *Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares*, siendo publicado en el Boletín Oficial del Estado los resultados de dichos ensayos, así como asignándole a cada modelo de captador ensayado una contraseña de homologación, con una fecha de validez determinada.

Por tanto, junto con las distintas normativas anteriormente comentadas, para el dimensionado de una IST es imprescindible acudir a los resultados de ensayo que se publican en el BOE, ya que estos se realizan según lo que indica esta norma, con validez y aplicación similar en todo el territorio de la Unión Europea. Se dedicarán varios apartados posteriores para el desarrollo del método de ensayo en estado estacionario que propone esta norma, por ser un punto clave en el desarrollo de la tesis.

1.4. Parámetros de diseño típicos. Caudales y saltos térmicos nominales

En el dimensionado de una IST, se deben fijar una serie de valores nominales para su funcionamiento, que en definitiva se reducen a seleccionar el caudal de circulación en el circuito primario y de esta forma, fijar las temperaturas nominales con las que se estima que trabajará la instalación, aunque como ya se ha indicado, éstas serán variables según nivel de radiación solar y del perfil de consumo de ACS.

Durante la fase de proyecto, se debe estimar un caudal de circulación primario, necesario para calcular las pérdidas de carga hidráulicas y dimensionar la red hidráulica, así como seleccionar un intercambiador de calor concreto. Sin embargo, no existe ninguna indicación sobre qué caudal es el óptimo para las condiciones particulares de cada IST. Como se ha visto, no existe ningún documento que especifique el valor de caudal a instalar, únicamente se puede citar lo que se indicaba en el antiguo RITE de 1998. Según este reglamento, de carácter prescriptivo y publicado en el RD 1751/1998:

“El caudal del fluido portador se determinará en función de la superficie total de captadores instalados. Su valor estará comprendido entre 1,2 l/s y 1,6 l/s por cada 100 m² de área de captadores. En las instalaciones en las que los captadores estén conectados en serie, el caudal de la instalación se obtendrá aplicando el criterio anterior y dividiendo el resultado por el número de captadores conectados en serie.”

Como puede comprobarse, el nuevo RITE se desarrolla con un enfoque basado en prestaciones u objetivos, como se indica en su introducción:

“...expresando los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material, ni impidiendo la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impiden el uso de nuevos productos y de técnicas innovadoras”.

Es decir, existe libertad en cuanto a seleccionar el caudal de circulación del fluido caloportador en el circuito primario, pero no existe, sin embargo, una clara preferencia o recomendación en cuanto al valor recomendable del mismo, más allá del indicado por los fabricantes de captadores solares, que normalmente, salvo casos particulares, suele ser un amplio rango de caudales válidos en lugar de un caudal específico.

Esta ausencia de indicaciones relativas al caudal por parte de la normativa aplicable hace que sea una variable de control de las IST a la que no suele darse la atención requerida, siendo reducidas las guías donde se aporten los beneficios o inconvenientes a tener en cuenta con la elección de un caudal determinado. Como se verá en los próximos capítulos, existen suficientes estudios que evidencian que su influencia es clave en el comportamiento final de la IST, ya sea por cuestiones económicas o por cuestiones energéticas. Esto justifica el interés que presenta su estudio, y es el punto de partida de esta tesis.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

2.1. Fundamentos teóricos

Existe una base de conocimiento sólida sobre los procesos físicos que tienen lugar en el funcionamiento de una IST. En la gran mayoría de estos procesos el caudal actúa como variable de control, siendo la única variable accesible en IST ya ejecutadas si se desea cambiar las condiciones de trabajo de todo el sistema.

En primer lugar, el caudal que circula por el interior del absorbedor de un captador solar interviene en el mecanismo de convección entre fluido y tubos. A continuación, en el proceso de acumulación térmica, según el valor que tome el caudal que entra y sale del acumulador, se mantendrá una estratificación térmica más o menos eficiente, en cuanto a diferencia de temperaturas entre zona superior e inferior del agua caliente acumulada se refiere. Además, el calor procedente del campo de captación se transferirá en un intercambiador de calor, cuyo funcionamiento quedará afectado por el valor que tome el caudal, tanto del circuito primario, como del secundario.

Todos estos procesos contribuyen a destacar el interés que presenta conocer cómo afecta el caudal al funcionamiento global de una IST, y, por tanto, establecer qué caudales son los más recomendables para las distintas aplicaciones que se deseen estudiar.

A continuación, se expondrán aquellos fundamentos teóricos que se han creído necesarios considerar, por la importancia que tienen, en la eficiencia final de una IST para calentamiento de ACS.

2.1.1. Transferencia de calor en el interior del absorbedor de captadores solares térmicos planos

Si se estudia el proceso de transferencia de calor que tiene lugar en el interior de cualquier tubo del absorbedor, la convección es el proceso principal. En ella, el fluido caloportador entra en el absorbedor a una temperatura t_{in} y recibe una energía procedente de la radiación solar incidente, saliendo a una temperatura t_{out} .

Este mecanismo convectivo queda sujeto al valor que tome el coeficiente convectivo entre fluido y paredes del tubo que lo contiene, h_{fi} . Para aumentar la cantidad de energía aportada al fluido, interesa que h_{fi} tenga un valor elevado, y esto depende del valor que tome el número de Nusselt para las condiciones del fluido. La teoría sugiere que, para obtener valores de Nu altos, debe existir régimen de flujo interno turbulento, lo que se obtiene para valores de número de Reynolds superiores a 10.000.

Tradicionalmente, el estudio de la transferencia de calor que tiene lugar en el interior de la mayoría de captadores solares planos se basa en el modelo HWB, (Hottel-Whillier-Bliss), según, [Hottel, 1958] y [Bliss, 1959]. Para ello, se cuantifican las ganancias energéticas del fluido, además de estudiar las pérdidas energéticas respecto a la energía total incidente en la cubierta del captador. Estas pérdidas se dividen en pérdidas ópticas y pérdidas por transmisión.

De este modo, la eficiencia térmica de un captador solar se puede obtener como la cantidad de energía que se transfiere al fluido respecto del total de energía solar incidente en la superficie útil de su absorbedor, la cual dependerá del valor de la

radiación solar existente en este instante. La cantidad de energía que se transfiere al fluido caloportador puede establecerse, según [Duffie, 2006], como refleja la Ec. 2.1.

$$\dot{Q}_{cap} = A_u F_R [\tau_\alpha G_T - U_L(t_{in} - t_a)] \quad (2.1)$$

En esta ecuación, los términos que definen la cantidad de energía que recibe el fluido caloportador y la cantidad de energía que se pierde son, respectivamente, F_R y U_L , partiendo de la base de que la radiación solar incidente sobre el captador no es aprovechada en su totalidad. Esto es debido a que existen pérdidas energéticas tanto en la cubierta de vidrio como en la placa absorbedora. Estas pérdidas son evaluadas por el factor τ_α , producto de la transmisividad del vidrio a incidencia normal y de la absorptividad de la placa absorbedora.

El término F_R se conoce como factor de evacuación del calor mientras que U_L es el coeficiente global de pérdidas térmicas del captador hacia el ambiente. El resto de los términos en la Ec. 2.1 son el área útil del absorbedor, A_u , la radiación solar incidente sobre el plano de captación, G_T , y las temperaturas de entrada del fluido al captador, t_{in} , y ambiente, t_a .

La utilidad de F_R es la de estimar la forma en la que se cede calor al fluido caloportador en cada zona del absorbedor. Si se quiere evaluar cómo de eficiente es el proceso de ganancia energética que tiene el fluido al atravesar el absorbedor, es necesario definir los términos de los que depende este factor, como se muestra en la Ec. 2.2.

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p}{A_u U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_u U_L F'}{\dot{m} c_p} \right) \right] \quad (2.2)$$

Entre otros factores, su valor depende directamente del valor del flujo másico \dot{m} . Esto significa que la cantidad de energía cedida al fluido caloportador quedará afectada por el valor del caudal. Además, se observa que F_R también depende del valor que tome U_L , el cual se obtiene como suma de los coeficientes de pérdidas térmicas en la cubierta, U_{top} , en los laterales, U_{edge} y posteriores del captador, U_{back} , como se muestra en la Ec. 2.3.

$$U_L = U_{top} + U_{edge} + U_{back} \quad (2.3)$$

En la Ec. 2.2, el término F' se conoce como factor de eficiencia del captador, y su valor se obtiene según la Ec. 2.4.

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W-D) F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (2.4)$$

Este factor representa, en un punto determinado de la superficie del absorbedor, la relación entre la ganancia de energía útil real y la ganancia de energía que existiría

idealmente, si en el punto evaluado, la superficie del absorbedor estuviera a la misma temperatura que la que tiene el fluido en ese mismo punto. Los factores que intervienen en esta ecuación se muestran en la nomenclatura, y, como es de esperar, entre ellos está el valor del coeficiente convectivo entre paredes de tubería y fluido, h_{fi} , volviendo a demostrar que el caudal es un factor clave en el mecanismo de transferencia de calor del absorbedor.

En el capítulo 3 se verá con mayor detenimiento cómo se obtienen los parámetros de la curva de eficiencia de un captador según [EN12975, 2006], a partir de la energía cedida al fluido caloportador a su paso por captadores y de la energía solar incidente en el plano de captación. En cambio, si se desea resolver las ecuaciones anteriores, y así simular el comportamiento térmico de un captador solar, deben realizarse cálculos iterativos, normalmente con el uso de programas como EES o TRNSYS, que aplican métodos numéricos como el de Newton-Raphson. Para ello, se estima una temperatura media del absorbedor inicial aproximada y tras varios ciclos de cálculo se obtiene un resultado final que converge, si la temperatura media utilizada como semilla de cálculo inicial queda relativamente cercana al valor final. Los resultados serán los valores de F_R , U_L y la energía cedida al fluido Q_{cap} , para unas condiciones determinadas de caudal, radiación, temperatura de entrada y temperatura ambiente.

Si se simula el efecto del caudal para un diseño determinado de captador, se comprueba que existen límites para conseguir unos resultados aceptables en el funcionamiento de estos programas de simulación, dentro de los cuales se cumplen los fundamentos teóricos anteriormente expuestos. Si el caudal es demasiado bajo, se producirán puntos calientes, donde será probable alcanzar temperaturas superiores a las de la vaporización del fluido caloportador. Esto requiere un correcto diseño hidráulico de los montantes, para que no existan desequilibrios de caudal, sobre todo en los diseños tipo parrilla. Si el caudal aumenta, lo que sucede es una reducción en el salto térmico entre la entrada y la salida del absorbedor, lo que repercute en que se reduzcan las pérdidas térmicas hacia el exterior, como consecuencia de que la temperatura media del absorbedor se reduce.

Ante estos fundamentos teóricos, parece lógico que sea preferible utilizar caudales altos en el dimensionado de IST, ya que con ellos se obtendrían las mayores eficiencias de captación, siempre que el captador no se salga de los márgenes de diseño habituales. Sin embargo, un buen rendimiento de captación, por sí solo, no asegura un buen aporte solar final de la IST al completo, ya que entrarían en juego otros sistemas además del de captación, como son acumulación, intercambio y bombeo.

2.1.2. La estratificación térmica en los acumuladores

Tras obtener el aporte energético al fluido caloportador, se necesita que éste sea almacenado hasta que sea requerido cierto volumen de ACS por el usuario, según el perfil de consumo existente en la IST. Este proceso se realiza en acumuladores a los que se les dota de un nivel de aislamiento térmico que garantiza bajas pérdidas térmicas.

Para entender el mecanismo mediante el cual ésta temperatura se mantiene en menor o mayor medida a lo largo del tiempo, se debe estudiar el fenómeno de la estratificación térmica: proceso físico en el que el fluido es acumulado de forma ordenada según su temperatura.

Cada zona con igual temperatura se conoce como estrato, siendo los estratos situados en la parte baja del acumulador los más fríos, con mayor densidad, y los situados en la zona alta los más calientes, con menor densidad. De esta forma, en la sección vertical

del acumulador se tendría un gradiente térmico, siendo conocida como termoclina aquella línea que identifica la región intermedia donde existen cambios de temperatura entre estratos. La situación de las termoclinas depende de la relación de aspecto del acumulador, h/\varnothing , y queda influenciada por factores como las pérdidas térmicas y sobre todo, por los ciclos de carga y descarga, es decir, por el movimiento que tenga el fluido en las zonas cercanas a las tuberías que entran y salen del acumulador. En la Fig. 2.1 se muestran varios ejemplos del mismo acumulador con distinto grado de estratificación.

Para lograr un buen grado de estratificación, es necesario estudiar su dependencia con el tiempo, donde el perfil de consumo juega un papel importante. Normalmente, en un acumulador típico para IST de preparación de ACS, se deben estudiar 2 procesos de mezcla que se dan al mismo tiempo:

- El primer proceso es el producido por el circuito de consumo de ACS, ya que durante la existencia de consumo se genera mezcla de fluidos a distinta temperatura, siendo desalojado fluido caliente desde la zona superior y admitiendo fluido frío por la zona inferior del acumulador.
- El segundo proceso es producido por el circuito de captación, y es el que tiene interés en esta tesis, donde se introduce agua caliente por la zona superior, (situada más abajo que la salida de ACS hacia consumo), y se retorna agua fría por la zona más baja, yendo hacia captadores para ser calentada. Esta configuración puede tener ligeras variaciones en función de si el intercambio se realiza en un intercambiador externo o si se hace en un serpentín interior, en un interacumulador.

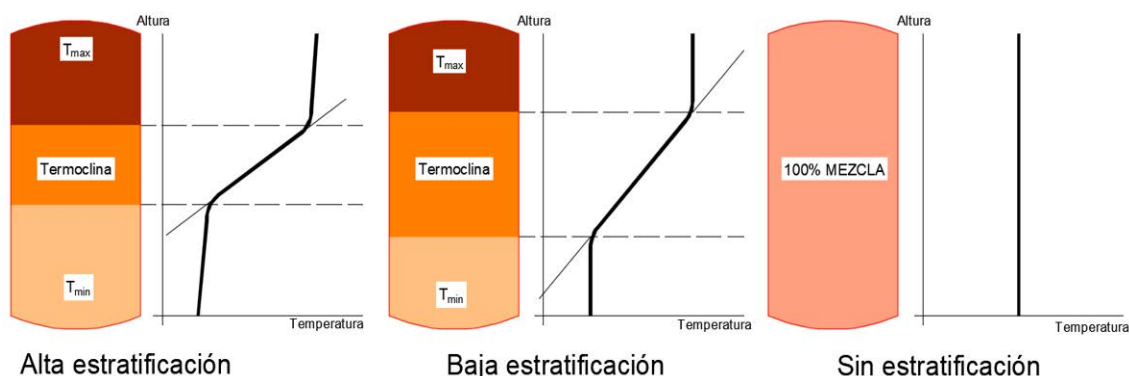


Figura 2.1. Distintos grados de estratificación térmica en un mismo acumulador de ACS

Independientemente de si hablamos de caudal primario o secundario, la intensidad de la mezcla ocasionada dentro del acumulador vendrá definida por la duración de cada descarga de consumo, por la frecuencia con la que se realiza y, sobre todo, por la intensidad, (caudal de descarga). Para evitar este proceso de mezcla, sería deseable que el fluido que ingresa en el acumulador desde captadores lo hiciera a una altura ideal según su temperatura, lo que es complicado, puesto que esta temperatura depende de la energía útil que esté siendo producida por captadores en cada momento. Como ya se ha visto, esto depende del rendimiento de captación, determinado por factores variables en el tiempo, como temperatura ambiente, temperatura del fluido en la parte baja del acumulador y radiación solar.

En este sentido, y como ya se adelantaba en el capítulo anterior, los fabricantes suelen estudiar aquellos diseños geométricos que reduzcan al mínimo la estratificación para

unas condiciones de funcionamiento típicas, pero esto quedará sujeto, en definitiva, a la velocidad que tenga el fluido que se mueve en el interior del acumulador atravesando los distintos estratos, lo que vuelve a poner de manifiesto la importancia del caudal de circulación para obtener altas eficiencias finales en las IST. El beneficio que se obtendría al hacer circular caudales bajos sería doble:

1. Al tener un mayor grado de estratificación en el acumulador, al campo de captación le llegaría fluido más frío, reduciendo así la temperatura media del absorbedor y, por tanto, consiguiendo menores pérdidas térmicas. Como resultado, aumentaría el calor útil transferido al fluido caloportador.
2. El grado de aprovechamiento energético que se puede conseguir en un acumulador estratificado frente a otro totalmente mezclado es superior, ya que, aunque tengan igual contenido energético, no tienen la misma exergía. La energía contenida en el acumulador estratificado sería de mayor calidad que en el caso de acumulador con mezcla.

Para estudiar el fenómeno de la estratificación y simular cómo afecta a los resultados finales en simulaciones energéticas de la IST, se suelen seguir 2 métodos: multinodo o *plug-flow*.

- El método multinodo, [Duffie, 2006], es un método diferencial, se basa en la definición de N nodos, identificando cada nodo un estrato o región horizontal del acumulador. A continuación, se propone un balance energético entre las N secciones definidas inicialmente, basado en ecuaciones diferenciales que son resueltas mediante métodos como Euler, Crank-Nicolson, etc. El resultado es el conjunto de temperaturas para cada estrato en cada paso de tiempo fijado en la simulación. Con mayor número de nodos y con menores pasos de tiempo de simulación se obtiene más precisión en el cálculo, pero el tiempo requerido para converger en un resultado de simulación satisfactorio será superior. Normalmente el número de nodos suele elegirse para el grado de estratificación esperado, siendo 3 o 4 un valor típico.
- El método *plug-flow* es un método algebraico propuesto en [Kuhn, 1980], que propone estudiar volúmenes de fluido a los que se considera como flujos entrantes o salientes del acumulador en función del tiempo. La mecánica en la que se basa es considerar que, conforme el tiempo avanza, los volúmenes de fluido entrantes desplazan hacia fuera del acumulador a los volúmenes existentes, definidos el paso de tiempo anterior. Para su resolución suelen plantearse ecuaciones que se resuelven con métodos de contabilidad matemática.

Ambos métodos convergen en un resultado claro: termodinámicamente interesa conservar la mayor diferencia de temperaturas posible entre la parte baja y la parte alta del acumulador.

Para facilitar la comparación entre distintos estados temporales de un acumulador, suelen utilizarse distintos números adimensionales, pero no todos ofrecen la misma utilidad para el caso particular que nos ocupa en IST.

En [Haller, 2009], se analizan de forma teórica varios modelos que evalúan la estratificación en acumuladores, partiendo de un análisis de las condiciones que la promueven y la mantienen. En este trabajo se recomienda no evaluar la estratificación en base únicamente al estado térmico final del acumulador. Deben conocerse además las condiciones de contorno que han contribuido a alcanzar dicho estado final, lo que puede hacerse mediante diversos métodos. Los más utilizados son la representación

gráfica de temperatura-altura del acumulador y tiempo adimensional, los balances energéticos de Primera y Segunda Ley de la Termodinámica, el grosor de la termoclina, el número MIX o el coeficiente de estratificación de Wu y Bannerot.

En [Castell, 2010], se realiza una comparativa similar sobre los distintos métodos de evaluación de la estratificación, pero en este caso se ofrece un estudio pormenorizado para bajo caudales de descarga. En estas condiciones, se recomienda utilizar el número de Richardson, Ri , y el ratio de la eficiencia de descarga, η_d , ya que otros adimensionales son muy dependientes de ciertas variables, como son el propio caudal, la temperatura del acumulador, las temperaturas de los flujos de entrada y salida o las propiedades térmicas del fluido. Esto suele crear diferencias entre los grados de estratificación calculados con cada método para un mismo caso experimental.

El número de Richardson se calcula según la Ec. 2.5, y como puede observarse, la velocidad del fluido acumulado en el estrato estudiado, v_s , es uno de los factores con mayor importancia, dependiente del caudal de descarga y de las dimensiones del tubo estratificador, como se indica en el Ec. 2.6.

$$Ri = \frac{g \beta H (T_{top} - T_{bottom})}{v_s^2} \quad (2.5)$$

$$v_s = \frac{Q}{\pi r_s^2} \quad (2.6)$$

Por otra parte, el ratio de la eficiencia de descarga compara la energía extraída del acumulador frente a la energía almacenada en él, como muestra la Ec. 2.7, estando los distintos términos de estas ecuaciones incluidos el glosario inicial de este trabajo.

$$\eta_d = \frac{E_{ext\ acum}}{E_{alm\ acum}} = \frac{\sum \dot{m}_d C_p (T_{out} - T_{in}) \Delta t}{M_t C_p (T_{start} - T_{in})} \quad (2.7)$$

Los autores concluyen que, de cara a evaluar y comparar los distintos métodos y números adimensionales utilizados en el estudio de la estratificación, es indispensable comparar su tendencia en el tiempo para un mismo proceso, donde se experimente la creación y posterior destrucción de cierto nivel de estratificación. En el caso concreto de bajos caudales de carga y descarga del acumulador se obtienen resultados similares con todos los métodos estudiados, mejorando siempre el nivel de estratificación si se compara con caudales superiores.

2.1.3. Intercambiadores de calor en IST para calentamiento de ACS

Como ya se ha adelantado, el resultado energético global obtenido en una IST se ve afectado por cómo se realice el intercambio térmico, proceso que se lleva a cabo en intercambiadores de calor.

La potencia nominal del intercambio de calor suele venir fijada por normativa, especificándose ésta como un valor mínimo, proporcional al área de captación. Aun así, aunque el intercambiador tenga una potencia igual a la requerida, falta estimar la eficiencia del proceso de intercambio de energía, lo que depende de los valores de temperatura y caudales en circuitos primario y secundario.

La premisa fundamental en aquellos casos en los que el circuito primario conecte con los captadores solares será la de enviar el fluido caloportador hacia captadores con la menor temperatura posible, lo que, además, garantiza que las pérdidas térmicas hacia el ambiente sean reducidas. Por lo tanto, a la hora de seleccionar un intercambiador

para una IST, los saltos térmicos a fijar en cada circuito dependerán del caudal con el que se va a trabajar, y, sobre todo, de si se quiere mantener un alto grado de estratificación en el acumulador. Una vez se fijen estos valores, se debe comprobar que la eficiencia de intercambio es la adecuada, que las pérdidas de carga sean admisibles, y que, para la potencia de intercambio requerida, se seleccione un intercambiador no sobredimensionado, para minimizar el coste.

Aplicando los fundamentos teóricos para intercambiadores de calor, la transferencia energética que se realiza entre el circuito primario y el secundario se define según la Ec. 2.8.

$$Q_{int} = U \cdot A_{int} \cdot DTLM \quad (2.8)$$

En esta ecuación, U , [W/m^2K], es el coeficiente global de transferencia, promediado en todas las placas efectivas del intercambiador, A_{int} , [m^2], es el área de transferencia útil del intercambiador y $DTLM$, [K], es la diferencia de temperaturas logarítmica media representativa.

La efectividad del intercambiador, ε , cuantifica el flujo de calor real intercambiado frente al flujo máximo que se intercambiaría idealmente, como se representa en la Ec. 2.9.

$$\varepsilon = \frac{Q_{int}}{Q_{int\ max}} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{C_{min} (T_{c1} - T_{f1})} \quad (2.9)$$

En esta ecuación, C_{min} representa la capacidad calorífica menor entre la de los 2 fluidos, (para el caso que nos ocupa, salvo que el contenido de anticongelante sea elevado, los 2 circuitos tendrían fluidos con igual capacidad calorífica). La Fig. 2.2 identifica la nomenclatura utilizada para las temperaturas en un esquema de intercambiador de placas típico en IST.

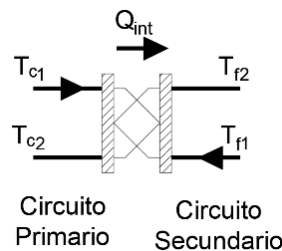


Figura 2.2. Nomenclatura identificativa de temperaturas en el intercambiador de calor típico de una IST

Al estudiar los fundamentos anteriores, si se desea mantener un valor mínimo de eficiencia y controlar las pérdidas de carga, conforme se aumenta el caudal se precisa incrementar el número de placas o variar el modelo de intercambiador para obtener mayor área de intercambio, lo que conlleva un encarecimiento. Por el contrario, proponiendo bajos caudales se alcanzarían buenos resultados con intercambiadores ajustados, tanto en tamaño como en precio.

2.1.4. Funcionamiento de IST en modo low-flow

El funcionamiento de una IST en modo low-flow, (bajo caudal), suele darse, según [Peuser, 2004], cuando el caudal del circuito primario queda comprendido entre 12 l/(hm²) y 20 l/(hm²).

Como el salto térmico existente en captadores aumenta considerablemente al reducir el caudal, las pérdidas térmicas aumentan, reduciéndose la eficiencia de captación. Sin embargo, como se demuestra en los trabajos [Carvalho, 1998], [Fanne, 1988] y [Hollands, 1989], mientras el nivel de estratificación conseguido en acumulación sea el requerido, se podrá garantizar que la temperatura del fluido caloportador a la entrada de captadores será baja, por lo que con bajo caudal se obtendrán beneficios energéticos muy similares a los conseguidos con opciones de mayor caudal.

Sin embargo, este modo de operación conlleva tanto una cuidadosa selección de componentes como una correcta puesta en marcha de la instalación, ya que tanto el acumulador como el intercambiador deben trabajar en unos límites muy ajustados de temperatura, fuera de los cuales el beneficio energético al trabajar con bajo caudal se pierde. Esto precisa un alto grado de especialización técnica y experiencia profesional para el especialista que dimensione y proyecte la instalación, además de un buen grado de conocimiento sobre la estrategia de control y regulación a programar en la centralita de control. Ésta, a su vez, es necesario que disponga de la capacidad de admitir programas personalizados de funcionamiento.

Para obtener buenos resultados con este tipo de configuración, se suele precisar instalar acumuladores de alta estratificación, con materiales y tratamientos internos que soporten altas temperaturas, así como con una estudiada relación de aspecto y ubicación de las entradas y salidas de flujo.

Por tanto, aunque el funcionamiento de una IST configurada para bajo caudal no obtenga mejores aportes energéticos que si tuviera caudal alto, el principal interés que ofrece es la interesante reducción de costes iniciales en la red de tuberías y tamaño de bomba del circuito primario. Esto conlleva una reducción del coste anual de bombeo, que en instalaciones con superficies de captación superiores a 20 m², llega a ser un factor decisivo en cuanto al periodo de amortización obtenido, como se verá en capítulos posteriores.

2.1.5. Pérdidas de carga hidráulicas y punto de trabajo en IST

Las pérdidas de carga hidráulicas del circuito primario de una IST dependen directamente del caudal de trabajo, por lo que el punto de trabajo de la bomba se obtendrá una vez se conozcan los diámetros nominales de tubería a instalar, para mantener una pérdida de carga lineal que suele fijarse en 20 mmca por metro de tubería en los cálculos iniciales. Este valor se consigue con velocidades de fluido entre 1,5 y 2,5 m/s, asegurando tanto la no deposición de residuos por baja velocidad como unas pérdidas de carga por fricción limitadas.

Conocidos los diámetros nominales de cada tramo del circuito primario, se puede realizar una estimación precisa de las pérdidas de carga en todo el circuito, ΔP , separando éstas en pérdidas primarias o lineales en tuberías, pérdidas localizadas en accesorios hidráulicos y pérdidas específicas en equipos, como reflejan, respectivamente, los tres términos de la Ec. 2.10.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum k_i \frac{v^2}{2g} + \Delta P_{esp} \quad (2.10)$$

En dicha ecuación, para calcular las pérdidas primarias, se necesita conocer el valor del factor de fricción de Darcy, f , que para flujo laminar, solo depende del número de Reynolds, mientras que para flujo turbulento depende también de la rugosidad del material con el que se fabrican las tuberías, ε_t . Dado que en las IST las condiciones suelen ser de régimen turbulento, para obtener el valor de f , se puede consultar el ábaco de Moody, o se puede calcular analíticamente aplicando la Ec. 2.11, conocida como ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\frac{\varepsilon_t}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.11)$$

Las pérdidas localizadas en accesorios son función de la velocidad, siendo de utilidad las tablas de valvulería, con valores tabulados para codos, té y demás accesorios hidráulicos, donde se refleja el factor adimensional, " k_i ", conocido como factor de pérdidas. Estas pérdidas suelen transformarse en valores de longitud de tubería equivalente, y se suman a las pérdidas primarias en tuberías.

Finalmente, las pérdidas específicas, ΔP_{esp} , deben ser suministradas por el fabricante de los equipos, siendo las más importantes las existentes en captadores solares, (mayores en el caso de absorbedores tipo serpentín), y en intercambiadores. Una vez se tiene establecido el valor final de pérdidas de carga hidráulicas, y como se trabaja en un circuito cerrado donde la bomba no debe vencer ninguna altura geométrica, se puede seleccionar una bomba circuladora cuya curva de trabajo se ajuste al punto de presión y caudal requerido. Para ello, debe considerarse que el punto de trabajo de la instalación quede en la zona de rendimiento óptimo ofrecido por la bomba, como muestra, a modo de ejemplo, el valor de $\eta[\%]$ en la Fig. 2.3. De este modo se reducirá la energía consumida por bombeo en el circuito primario de la IST.

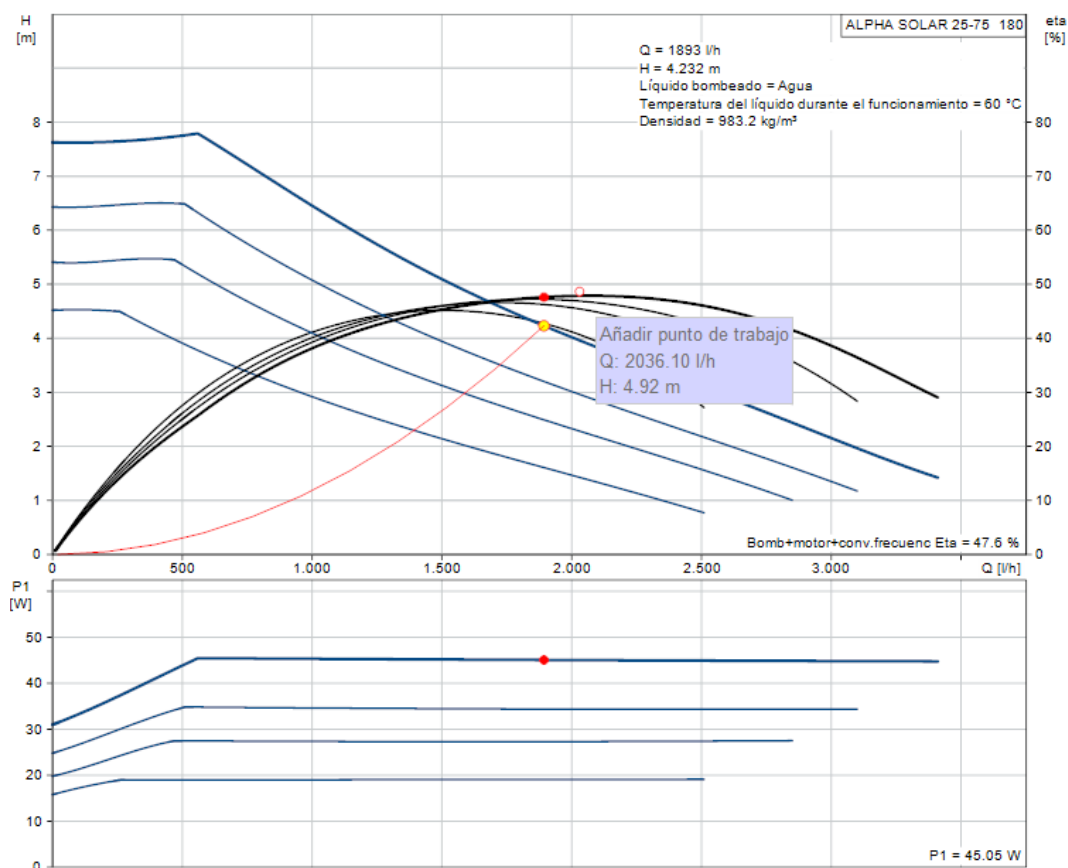


Figura 2.3. Punto óptimo de trabajo para la bomba circuladora Grundfos Alpha Solar 25-75 130

2.2. Estado de la cuestión

2.2.1. Introducción. Trabajos previos

Aunque existe una gran variedad de trabajos en los que se trata la importancia del caudal en el comportamiento de las IST, ya sea de forma directa o indirecta, hasta la fecha en ninguno de ellos se ha realizado un estudio que utilice los resultados experimentales de ensayos de captadores, tras ser afectados por la incertidumbre, con las simulaciones energéticas anuales del comportamiento de la IST.

Como ya se ha tratado en los fundamentos teóricos, el caudal circulante por el circuito primario afecta a todos los componentes principales de una IST, quedando los trabajos existentes sobre el caudal enfocados hacia cada sistema en particular: se estudia la influencia del caudal en el rendimiento de los captadores solares y su impacto en la estratificación en los acumuladores, pero todo ello sin tener en cuenta el resultado global que el caudal de trabajo consigue en la IST. Además, en la mayoría de los trabajos, no se ofrecen datos sobre la precisión de los sensores con los que se obtienen los registros de datos de ensayo experimentales, y, por tanto, tampoco se propaga la incertidumbre de medida, lo que da lugar a conclusiones de validez incierta.

A continuación, se realiza una revisión bibliográfica, centrada en aquellos trabajos destacables para el estudio de la importancia del caudal en el circuito primario de las IST.

2.2.2. Análisis comparativo entre distintos métodos de ensayo de eficiencia

Para obtener datos que definan el comportamiento térmico de un captador solar térmico plano, existen distintos métodos de ensayo, siendo todos ellos normalizados para su aplicación general en distintos países. Normalmente, todos los métodos suelen tomar como punto de partida un modelo físico con 3 parámetros, relativos a cómo se absorbe la energía en el captador, a cómo se pierde esta energía y, finalmente, a cómo se comportan los 2 parámetros anteriores para los distintos ángulos de incidencia que puedan existir durante el funcionamiento diario.

Existen trabajos como [Rojas, 2008] donde se realiza una comparativa experimental de los distintos métodos de ensayo, [ASHRAE, 2003] y [EN12975, 2006]. En este trabajo, se comprueba que los ensayos según [ASHRAE, 2003] requieren mayor duración que los de [EN12975, 2006], ya que precisan menor variabilidad de las condiciones ambientales exteriores. En ambos casos se precisa un filtrado de datos previo al análisis estadístico, y los resultados obtenidos difieren menos de un 5%. Esto da una idea de su similitud. Si se realizan simulaciones anuales con los resultados de ensayo, obtenidos por cada método para un mismo captador, se comprueba que con los factores de curva de rendimiento obtenidos según [EN12975, 2006], se obtienen menores fracciones solares. Esto se podría deber a que esta norma sí tiene en cuenta el efecto del viento y [ASHRAE, 2003] no.

No se ofrecen en este trabajo datos sobre la influencia del caudal de ensayo en los resultados obtenidos con ambos métodos. Tampoco se incluyen estudios sobre la importancia del proceso de selección de datos en los resultados finales obtenidos para cada ensayo.

También existen trabajos donde se destaca el error que supone prever el comportamiento de captadores solares en base únicamente a su eficiencia instantánea, obtenida en un ensayo con unas condiciones de contorno específicas, [Zambolin, 2010]. Para poder conocer el comportamiento de un captador ante unas condiciones de trabajo y caudal específicos, debería realizarse un ensayo obteniendo puntos de rendimiento concretos en las condiciones de trabajo buscadas. En esta misma línea, [Carrillo, 2002] identifica la importancia de tener en cuenta el patrón de consumo de la instalación, ya que de lo contrario, al utilizar una norma de ensayo para evaluar el comportamiento de un sistema completo, se estarían produciendo errores, debido a que los datos de los ensayos no son representativos de condiciones reales de funcionamiento. En este caso, concreto, de aplicación a sistemas compactos termosifón, la norma andaluza propone patrones de consumo en base a largas descargas, mientras que la norma EN12976-2 propone descargas distribuidas.

2.2.3. Estudio de la incertidumbre en los ensayos de eficiencia de captadores solares

La incertidumbre en los resultados de ensayos de rendimiento térmico se trata en varios trabajos. Como guía sobre la identificación de parámetros y propagación de incertidumbre se puede citar a [Budig, 2009]. En este trabajo, sin embargo, no se ofrecen datos sobre la estrategia seguida en la selección de la muestra de datos válida, pero se ofrece un amplio desarrollo de la aplicación que se propone en [GUM, 1995], identificando errores sistemáticos y errores aleatorios. En [Osorio, 2014] se destaca que, la forma en la que se realice el estudio estadístico de las muestras de ensayo afecta a los resultados finales, por lo que este proceso es de gran importancia. No se encuentran

referencias que indiquen que este proceso esté estandarizado entre laboratorios de ensayo.

Trabajos como [Mathioulakis, 2004] y [Müller, 2000], son previos a la versión actual de [EN12975, 2006], pero ya ponían de manifiesto la necesidad de aportar, junto con los factores de curva de eficiencia de ensayo, los valores de la incertidumbre final asociada de una forma estandarizada. Los laboratorios de ensayo suelen ofrecer la desviación típica de sus resultados de ensayo, pero este dato, por sí solo, no tiene utilidad para realizar predicciones de funcionamiento de captadores solares, ya que responde únicamente a la distribución estadística de los resultados de ensayo. Sin embargo, en estos trabajos no se realizan simulaciones anuales con los distintos resultados de ensayo ya afectados por la incertidumbre. De esta forma, se podría obtener una conclusión clara sobre la importancia de ésta para las predicciones de funcionamiento anuales de los captadores solares ensayados.

Finalmente, se deben destacar a [Sabatelli, 2002], que cuantifica la influencia de cada error de medida, asociado a cada sensor del banco de ensayo de rendimiento térmico, en los resultados finales obtenidos, y a [Domínguez, 2011], que ofrece un estudio específico para la validación y mejora del modelo HWB, aplicando para ello un análisis de incertidumbre. Este último trabajo concluye que los resultados de ensayo dependen fuertemente de la distribución que tome la muestra de datos registrados durante la última etapa del ensayo. Esta etapa es la que se realiza a mayor temperatura de entrada a captadores, siendo donde menor rendimiento térmico se obtiene del captador. Además, debido a que las propiedades físicas del fluido caloportador comienzan a cambiar por acercarse al punto de ebullición, es especialmente delicado mantener unas condiciones de régimen estacionario. Esto hace que la selección de la muestra de valores determine en gran medida la curvatura de la gráfica de rendimiento térmico obtenida.

2.2.4. Estudio sobre la importancia de la estratificación en IST

El estudio del fenómeno de la estratificación térmica en acumuladores ha sido objeto de múltiples trabajos, lo que demuestra el gran interés de este campo de estudio. Si nos ceñimos al campo de las IST, podemos citar los siguientes trabajos, los cuales han servido de base para el estudio de la importancia de la estratificación en la fracción solar obtenida en una IST para ACS.

En [Bouhal, 2017] se estudia numéricamente, mediante CFD, la mejora obtenida en la estratificación cuando se colocan placas deflectoras a distintas alturas y con distintas inclinaciones dentro del acumulador. El resultado se evalúa mediante el número de Richardson obtenido en cada caso. Las placas orientadas a 30° sobre la horizontal, y colocadas en la mitad de la altura del acumulador son la solución óptima. Sin embargo, este resultado depende del caudal existente en las simulaciones, por lo que no es trasladable a todas las configuraciones de IST, ya que el caudal es una variable de control. El estudio no incluye valoraciones sobre la mejora que cabe esperar, en cuanto a fracción solar, al mejorar la estratificación en algunos casos de estudio.

De un modo similar, en [Cristofari, 2003] se aplica un modelo de diferencias finitas para calcular la eficiencia de un sistema solar con acumulación y captación, tanto para alto como para bajo caudal. Como conclusión, con bajos caudales se aumenta el factor de utilización de la IST simulada. En este trabajo no se ofrecen datos ni del valor UA del intercambiador ni del perfil de consumo utilizado en las simulaciones.

En cuanto a estudios experimentales, podemos destacar tanto a [Jordan, 2005] como a [Zalman, 1977]. En el primero se comparan varios acumuladores de ACS con distintas configuraciones en la entrada de agua fría. De esta forma se estudia la influencia de las

descargas en la estratificación obtenida. Se utiliza un modelo multinodo, y los resultados revelan que, en caso de disponer de distintas entradas de agua fría situadas a distintas alturas según su temperatura, se llega a mejorar un 4% la fracción solar anual, al compararse con un sistema de altura fija. Como en otras referencias, este resultado depende del caudal circulante, ya que la altura a la que llega el dardo de agua dentro con distinta temperatura dentro del acumulador es función del caudal al cuadrado. Esto significaría que, tanto el propio consumidor, a través de sus hábitos de consumo, como el caudal del circuito primario, serían 2 factores decisivos en la fracción solar obtenida, debido a que influyen notablemente en el grado de estratificación alcanzado en el acumulador. Se necesitaría conocer cómo afecta cada configuración estudiada a distintas IST tipo, en las que existan distintos patrones de consumo y caudales en el circuito primario.

En [Zalman, 1977] se analiza el comportamiento de los acumuladores frente a distintas descargas de ACS, variando el caudal, la relación de aspecto del acumulador y los saltos térmicos entre entrada de agua fría y caliente. Como resultados principales, se comprueba que la mala estratificación pierde más cantidad de energía cuando el nivel de radiación solar es bajo, y que los procesos de mezcla entre estratos, causados por los procesos de carga y descarga, suelen durar entre 3 y 4 minutos, quedando definidos por el número de Reynolds existente en la tubería de conexión al acumulador. Este trabajo ofrece una serie de correlaciones que permiten predecir la eficiencia de la estratificación en base a los números de Reynolds y Grashof y de la relación de aspecto del acumulador. Como sucede con otras referencias, el resultado obtenido se concreta únicamente en el acumulador. No se estudia su importancia en la fracción solar de una IST al completo.

Finalmente, podemos destacar a [Kleinbach, 1993], donde se ofrece un amplio desarrollo sobre el funcionamiento de modelos unidimensionales para el estudio térmico de acumuladores estratificados. En dicho estudio se sugiere que, para IST con bajo caudal, se utilice el método plug-flow, prestando especial atención al paso de tiempo de simulación elegido. Además, se estima que el número de renovaciones del acumulador, T , define el funcionamiento de la IST en cuanto a su caudal. Este número de renovaciones se calcula según la Ec. 2.12, donde M_{HEAT} es la masa total diaria de fluido que entra en el acumulador desde captadores, M_{LOAD} es la masa total de fluido que entra al acumulador desde la demanda y M_T es la masa de fluido acumulada por el acumulador. Para que una IST sea considerada como bajo caudal, los autores proponen que $T < 5$.

$$T = \frac{M_{HEAT} + M_{LOAD}}{M_T} \quad (2.12)$$

En este trabajo, aunque si se obtienen fracciones solares, éstas no se calculan utilizando curvas de ensayo para cada caudal. En su lugar, se modifican los valores de F_R obtenidos para un único caudal de ensayo homologado utilizando los factores de conversión propuestos en [Duffie, 2006].

2.2.5. Efecto del desequilibrio hidráulico en el funcionamiento de IST

El estudio de los efectos del caudal primario suele centrarse en cuantificar las consecuencias que conlleva no mantener un caudal uniforme. Ya sea por el interior de cada montante como por cada uno de los captadores solares instalados en paralelo. Se pueden citar trabajos teóricos como [Jones, 1994] y [Chiou, 1982]. En ninguno de ellos se realiza un ensayo de rendimiento térmico que relacione el desequilibrio hidráulico existente con la eficiencia de captador obtenida durante ensayos.

El primero se basa en el estudio de un modelo hidrodinámico discreto, despreciando el cambio de propiedades físicas con la temperatura, y concluyendo que el tipo de régimen de flujo interno no influye en el desequilibrio hidráulico. Los autores dividen los absorbedores tipo parrilla en 2 tipos, los dominados por las fuerzas inerciales y los dominados por las fuerzas de fricción. Se identifican los 3 parámetros, que más afectan a la distribución de caudal, los cuales son, en orden de importancia: la relación entre el diámetro de los montantes y los distribuidores, el número de montantes y la longitud de los montantes. Independientemente del tipo de absorbedor tipo parrilla, la mala distribución de caudal aumenta conforme crecen los 2 primeros parámetros y al reducirse el tercero. Los resultados sugieren que, en el caso de captadores donde predominen las fuerzas de fricción, el montante más alejado de la entrada de fluido al absorbedor es el que menor caudal recibe.

En el segundo trabajo, [Chiou, 1982], se define un factor de deterioro del rendimiento térmico del captador por acción del desequilibrio hidráulico, así como un factor de no uniformidad del caudal, que estima como de mal está distribuido el caudal dentro del absorbedor. Para el desarrollo del estudio se utilizan modelos numéricos con patrones de desequilibrio, para obtener, de forma teórica, los rendimientos de captación en cada caso. Solo se estudia un caudal por captador de 40 l/h, y se propone que la caída en el rendimiento de captación debida a la mala distribución de caudal puede llegar a ser del 20 %.

Otro trabajo con interés para entender la importancia del caudal circulante en el absorbedor es [Herrero, 2011]. Aunque no estudie el efecto del caudal directamente, se simula en TRNSYS la mejora que existiría en el proceso de transferencia de calor de un absorbedor tipo parrilla al insertar muelles en su interior. De este modo se adelantaría la aparición de régimen turbulento con caudales bajos. Esta mejora solo se aprecia a caudales elevados, pero al no considerar la incertidumbre final en los resultados, las mejoras obtenidas no pueden evaluarse cuantitativamente. Además, las curvas de rendimiento obtenidas al insertar los muelles no son experimentales, si no que se obtienen mediante simulación a partir de la curva de ensayo oficial de un captador para un único caudal de 120 l/h.

Otros trabajos recurren a la experimentación, como [Weitbretcht, 2002], que utiliza una réplica de un absorbedor tipo parrilla realizada en tubería plástica *Perspex*. En ella se miden las variaciones de caudal aplicando técnicas LDV, (*Laser Doppler Velocimetry*). Este trabajo se centra únicamente en condiciones de régimen de flujo laminar, sin embargo, las condiciones reales existentes en la mayoría de IST implican que existan otros regímenes de flujo, en función del caudal de trabajo seleccionado.

Publicaciones como [Bava, 2016] y [Bava, 2017] estudian el caudal variable y sus ventajas, pero quedan limitadas al campo de las IST destinadas a redes de distrito. En el primer trabajo, los autores recurren a un modelo numérico en Matlab que calcula tanto las pérdidas de carga como la distribución de caudal en un captador solar. Los resultados se comparan con medidas experimentales de la caída de presión total existente en un captador para distintos caudales. Como resultado principal, la distribución de caudales estaría controlada por el régimen de flujo existente en los tubos distribuidores, obteniendo mejor distribución de caudales con condiciones de régimen turbulento, que los autores fijan para Reynolds superiores a 3.100. Este fenómeno se explicaría por la fuerte dependencia que tendría el sistema frente a las pérdidas de carga localizadas en las tes de unión entre distribuidores y montantes cuando se tienen condiciones de flujo laminar.

En el segundo trabajo, los autores realizan otro estudio numérico, apoyado por medidas experimentales de caudal, para evaluar la distribución de caudal en una gran instalación solar que funciona con caudal variable. Esta IST cuenta con 3.024 m² y queda destinada a una red de distrito. Los problemas asociados a trabajar con bajos caudales son los derivados de situaciones de estancamiento o de congelación. Como conclusiones

finales, se destaca la necesidad de incorporar válvulas de equilibrado a las grandes IST. Este trabajo no ofrece datos referentes a una comparativa económica y de amortización entre el modo de trabajo con caudal variable y el de caudal fijo. Tampoco ofrece datos técnicos sobre la forma de equilibrar el caudal con válvulas de equilibrado estático, ya que, al trabajar con caudal variable, los puntos de trabajo serán también variables, pero este tipo de válvulas suelen instalarse para un rango de caudal estrecho.

En cuanto a recomendaciones sobre el diseño hidráulico del absorbedor en captadores tipo parrilla, se pueden citar trabajos como [Façao, 2015] y [Wang, 1990]. En ninguno de ellos se identifica a partir de qué valor de caudal comienzan a existir desequilibrios hidráulicos, ni tampoco se cuantifican las diferencias de rendimiento esperables con cada caudal de trabajo.

En el primero, se aporta un estudio numérico realizado en Fluent, encaminado a optimizar la distribución de caudal en captadores, solo para condiciones de régimen laminar, y donde finalmente, los resultados se comparan con resultados experimentales. En su revisión bibliográfica, se cita que a partir de $70 \text{ l}/(\text{hm}^2)$ la convección forzada es controlante, por lo que suponer flujo isotérmico para las simulaciones no conllevaría grandes errores. A caudales menores esto no es así y por tanto el estudio propuesto no sería aplicable. Como punto a destacar, las conclusiones obtenidas parecen opuestas a las obtenidas por [Jones 1994], ya que la distribución de caudal entre montantes empeoraría conforme el caudal aumenta, debido a los efectos inerciales. Además, se identifican a los montantes más alejados de la entrada de fluido como los que mayor caudal reciben.

Por su parte, en [Wang, 1990] se advierte que el modelo H-W-B supone caudales uniformes por cada montante, lo que equivale a que existan saltos térmicos similares en todo el absorbedor, y lo cual conlleva un gran error cuando se tienen grandes grupos de captadores interconectados entre sí. El trabajo ofrece una serie de modelos numéricos para conocer tanto la eficiencia como la distribución de caudales y temperaturas en grandes campos de captadores. Sin embargo, no se indica en ningún caso la precisión del cálculo de estos modelos.

Finalmente, [Chen, 2012] compara la eficiencia de 2 captadores solares idénticos tipo parrilla, diferenciándose únicamente en que uno de ellos tiene una lámina de ETFE, (Etileno-TetraFluoroEtileno), entre absorbedor y cubierta. Esto reduce las pérdidas energéticas frontales, pero en este trabajo tampoco se tienen en cuenta las incertidumbres de ensayo, por lo que los resultados no son concluyentes.

2.2.6. Análisis del funcionamiento de IST que trabajan con bajo caudal

El interés que ofrece trabajar con caudales bajos en las IST ha sido tratado desde hace décadas, como demuestran los siguientes trabajos:

En [Carvalho, 1988] se comparan experimentalmente distintas estrategias de trabajo de IST. El estudio se basa en 3 configuraciones: una en la que el fluido caloportador circula de forma forzada a través de captadores una vez a lo largo del día, un sistema convencional de circulación forzada, donde el fluido caloportador circula varias veces al día por captadores, y finalmente, un sistema termosifón. Las conclusiones de este estudio revelan que el sistema que más cantidad de energía produce es el que obliga al fluido a circular una sola vez al día por captadores. Su funcionamiento supera a las otras configuraciones especialmente en días de baja radiación. Este estudio, sin embargo, no ofrece datos de costes y amortizaciones, sin los cuales no se puede cuantificar si realmente el sobre coste del sistema recomendado es amortizable frente al sistema termosifón, que es el más económico.

En otra línea de trabajo, [Fanney, 1988] compara rendimientos de varias IST con distintos caudales primarios. Se informa de que los caudales existentes en las IST, en la fecha de la publicación del artículo, eran bastante elevados, siendo típicamente hasta 3 veces superiores al caudal de consumo diario. Los experimentos se hacen para caudales de $72 \text{ l}/(\text{hm}^2)$ y $4,88 \text{ l}/(\text{hm}^2)$, obteniendo curvas de rendimiento según ASHRAE. También se miden los valores UA de los intercambiadores en cada ensayo y a cada caudal, encontrando que con el caudal menor se obtiene una fracción solar un 8% mayor que con el caudal superior. Por contrapartida, este trabajo no ensaya todas las situaciones, realizando extrapolaciones para las curvas de rendimiento necesarias para algunos caudales, aplicando lo indicado en [Duffie, 2006]. Sobre el funcionamiento del intercambiador con bajos caudales, se informa de que conforme baja el caudal, el término UA del intercambiador empeora. No obstante, no se ofrecen datos sobre el dimensionado de cada intercambiador con cada caudal estudiado.

En [Buckles, 1980] se destaca la importancia que llega a tener el volumen total de consumo de ACS diario, ya que, en caso de que éste supere el volumen de ACS acumulado, la fracción solar se reducirá notablemente, al igual que cuando el patrón de consumo mensual varíe bastante entre meses. En ellos se ofrecen amplios estudios sobre la idoneidad que supone trabajar con caudales que aumenten el grado de estratificación y que incrementen las horas de operación del sistema, incluso con días de baja radiación. Sin embargo, ninguno ofrece datos sobre el estudio del comportamiento térmico de cada componente principal de una IST, al variar el caudal. Tampoco se realizan comparaciones en base a curvas de rendimiento de captación obtenidas de forma experimental, ni se recomiendan las configuraciones óptimas, tras un estudio económico que incluya las amortizaciones obtenidas con costes reales.

Un trabajo en el que se revisan casos de IST con bajo caudal y alta estratificación es [Hollands, 1989]. En este artículo se ponen de manifiesto las ventajas que conlleva el bajo caudal en cuanto a reducción de costes, tanto iniciales como de bombeo. A su vez, se concluye que las ventajas energéticas obtenidas por los altos niveles de estratificación que permite el bajo caudal son superiores a las pérdidas en rendimiento de captación. Se estima que un acumulador bien estratificado puede llegar a producir un 38% más de energía que uno totalmente mezclado.

Finalmente, como ya se ha indicado, el consumidor también tiene influencia en el rendimiento de una IST. En [Knudsen, 2002] se propone un trabajo teórico en el que se comparan 2 sistemas, uno con bajo caudal y acumulador de doble envolvente, y otro con alto caudal e interacumulador. Se estudia su funcionamiento frente a 2 patrones de consumo, tradicional y realístico. El patrón tradicional se compone de 3 descargas al día idénticas en cuanto a duración y caudal, mientras que el patrón realístico se basa en temperaturas de agua de red variables, y se calcula según los datos del IEA SHACP Task 26. Como resultado, para consumos menores a $200 \text{ l}/\text{día}$ se recomienda utilizar volúmenes de acumulación entre 100 y 175 litros, menores a los usuales en este tipo de IST.

2.2.7. Carencias encontradas

Las carencias de los trabajos relacionados con la temática tratada en esta tesis son las que han servido, precisamente, para guiar el desarrollo de ésta. En este sentido, y a modo de resumen, los trabajos utilizados como referencia tienen las siguientes carencias, no dejando por ello de ofrecer una indudable calidad e interés en el campo de la energía solar:

1. Los factores de las curvas de rendimiento utilizadas en los trabajos con simulaciones de funcionamiento anual, utilizan los resultados de un ensayo para un determinado caudal. Para simular otros caudales, los factores se obtienen mediante extrapolación, aplicando los fundamentos teóricos mostrados en el capítulo anterior. No se trabaja con curvas de ensayo obtenidas experimentalmente para varios caudales.
2. En la mayoría de los trabajos no se realiza un dimensionado de la IST al completo, ni se comparan los datos de funcionamiento anuales teniendo en cuenta el coste real de los equipos. No suelen incluirse conclusiones referentes a la solución más interesante en cuanto a períodos de amortización para la IST al completo.
3. No existen trabajos en los que se comparen a la vez, y bajo idénticas condiciones exteriores, 2 captadores similares salvo por la configuración hidráulica de su absorbedor. Esto permitiría, tras propagar la incertidumbre, conocer realmente las diferencias existentes entre el comportamiento energético de ambas soluciones.
4. Existen pocas referencias en las que se desarrolle, de un modo profundo, la estrategia seguida para filtrar y seleccionar las muestras de datos de ensayos válidas, previa al análisis estadístico. Tampoco se relaciona la influencia que esta selección de datos tiene en los resultados finales de ensayo.
5. Aunque existe gran variedad de trabajos relativos al estudio de la estratificación térmica en acumuladores, no se profundiza en el estudio de la influencia del caudal de circulación primario en este fenómeno, ni se estudia de forma conjunta con el proceso de intercambio térmico. La mayoría de los trabajos estudian los caudales de carga y descarga debido al perfil de consumo, obviando la circulación de fluido desde el circuito solar.
6. Pocos trabajos experimentales ofrecen, de una forma concisa, toda la dotación técnica utilizada para los ensayos. Se debería incidir más en la precisión de cada sensor utilizado, y, por tanto, se podrían ofrecer datos fiables sobre la propagación de incertidumbre, y cómo ésta afecta a las conclusiones obtenidas.
7. Los trabajos relacionados con caudales variables pertenecen a estudios de IST con grandes dimensiones, sobre todo destinados a redes de distrito, "*district heating*", en el norte de Europa. Sus conclusiones no siempre pueden trasladarse al ámbito de las IST de pequeño y mediano tamaño destinadas a calentamiento de ACS.
8. La mayoría de los trabajos relacionados con la importancia del caudal primario no ofrecen un estudio pormenorizado del punto de trabajo de la bomba circuladora. Este punto determina el dimensionado tanto de la red de tuberías como de otros equipos que determinan el coste inicial de las IST, por lo que tiene una importancia que no es apreciada.

2.3. Objetivos de la investigación

Una vez contrastados los fundamentos teóricos que evidencian la importancia que tiene el caudal del circuito primario en el comportamiento de una IST, y enumerados los trabajos existentes sobre este campo junto con sus carencias, se puede concluir que

este tema de estudio mantiene un elevado interés desde hace décadas. Sin embargo, existen puntos donde todavía hace falta un estudio pormenorizado que ofrezca aportaciones relevantes.

Aunque se ha demostrado que el caudal actúa como variable de control en las IST, no existen referencias en las que se estudie su influencia combinando trabajos de investigación experimental con simulaciones energéticas. Esto, además, debería hacerse de forma que las conclusiones finales queden afectadas por la incertidumbre de los ensayos experimentales, de cara a conocer si el resultado es o no concluyente. Tampoco existen trabajos en los que se estudie la influencia del caudal en todo el funcionamiento del circuito primario de una IST, ya que las referencias citadas anteriormente se enfocan a los diversos efectos en los que el caudal queda involucrado, (estratificación, desequilibrio hidráulico, etc.). Ninguna referencia aporta recomendaciones de caudales óptimos o estrategias preferentes de control y funcionamiento para distintos tipos de IST.

Ante estas carencias, el objetivo principal de esta investigación es el de aportar resultados concluyentes sobre la importancia que tiene el caudal en el circuito primario de una IST. Para alcanzar dicho objetivo, se necesita un completo trabajo que incluya ensayos de rendimiento térmico a distintos caudales, ensayando equipos solares actuales. Esta etapa inicial debe continuar con una simulación energética posterior, que estará basada en la selección de componentes para varios tipos de IST de calentamiento de ACS. Todo ello, como ya se ha indicado, teniendo en cuenta las incertidumbres de los sensores utilizados en los ensayos, para propagarlas a las conclusiones finales. Solo así se podrá determinar si los resultados obtenidos son o no concluyentes.

Además de este objetivo principal, una vez se tienen los resultados del trabajo experimental realizado, se alcanzaron otros objetivos secundarios:

- Una comparativa entre las 2 configuraciones hidráulicas más utilizadas hoy día en captadores solares planos: tipo parrilla y tipo serpentín, incluyendo de qué forma les afecta el caudal circulante a cada una.
- Un análisis económico que proponga la combinación de tipo de absorbedor y caudal más recomendable para 2 IST con distintos patrones de consumo.
- Comprobar si tiene interés el incipiente mercado de bombas controladas electrónicamente, ya que, además de aportar ventajas por su reducido consumo energético, ofrecen la posibilidad de trabajar con caudal variable, siendo interesante comprobar si realmente suponen una ventaja demostrable.

Debido a que para obtener las curvas de eficiencia de cada captador, con cada caudal, se aplicó el método de ensayo estacionario indicado en [EN12975, 2006], la investigación también aporta conclusiones sobre la importancia que tiene la estrategia seguida en la selección de datos de ensayo válidos. Este proceso se lleva a cabo antes de realizar el ajuste estadístico con el que se obtienen los 3 factores de las curvas de eficiencia de captadores, y debería ser un proceso estandarizado para todos los laboratorios de ensayo homologados.

3. METODOLOGÍA

3.1. Introducción. Definición de las fases de trabajo realizadas

Durante el desarrollo de la investigación, se han realizado diversos procesos secuenciales para alcanzar los objetivos fijados inicialmente. Estos procesos se ordenan según la secuencia cronológica siguiente:

1. Preparación del banco de ensayos
2. Pruebas y calibración de sensores y datalogger
3. Realización de ensayos de rendimiento térmico en estado estacionario
4. Tratamiento de datos de ensayo
5. Ajuste MLR y obtención de los coeficientes característicos de las curvas de eficiencia
6. Propagación de la incertidumbre de ensayo
7. Obtención de curvas de ensayo para distintos caudales y por cada captador

3.1.1. Preparación del banco de ensayos

La fase inicial de la investigación comenzó con la puesta al día y preparación del banco de ensayos, propiedad de la Universidad de Málaga. Al inicio de los trabajos este banco no estaba operativo, por lo que precisó de una renovación integral de sus componentes principales, siendo necesario trasladarlo desde su localización desde el Parque Tecnológico de Málaga, en Campanillas, hasta el lugar desde el que se realizarían los ensayos, en la cubierta de la Escuela de Ingenierías.

Dado que el método de ensayo en el que se basa la investigación es el método SST, (*Steady State Test*), de la norma de referencia [EN12975, 2006], se precisó realizar un inventario de los equipos de registro de datos y sensores que era necesario incorporar al banco de ensayos para conseguir una precisión de medida acorde a los objetivos planteados. En la mayoría de los casos, fue necesario adquirir equipos con certificados de calibración de laboratorios oficiales, por lo que se adquirieron 5 sondas de temperatura, 2 piranómetros y se renovó toda la instalación de cableado de comunicación entre datalogger y sensores. Además, se actualizó el software de registro de datos del datalogger para trabajar con un sistema operativo actual.

3.1.2. Pruebas y calibración de sensores y datalogger

Una vez se instalaron las sondas de temperatura y los piranómetros, junto con el anemómetro y los 2 caudalímetros, se comprobó el correcto funcionamiento global del banco de ensayos a circuito cerrado, sin captadores. Este paso fue necesario para garantizar que los ensayos fueran repetibles en cuanto a resultados y así evitar descartar registros por falta de fiabilidad en los equipos. Para ello se hizo circular agua en el circuito de tuberías y accesorios, comprobando que la planta termostatadora era capaz de controlar la temperatura y detectando las zonas con fugas o mal estado de los accesorios hidráulicos, (codos, aislamiento deteriorado, válvulas de corte gripadas, purgadores abiertos o válvulas de seguridad bloqueadas).

Tras la sustitución de los componentes defectuosos, se procedió a realizar varias medidas de larga duración de temperaturas, caudales, radiación y velocidad del aire,

comprobando que el equipo de registro de datos funcionaba, así como que las medidas ofrecidas por los distintos sensores quedaban dentro del margen de tolerancia previsto inicialmente. Finalmente, el ajuste de los caudales de ensayo se consiguió manipulando las válvulas de equilibrado hidráulico instaladas, pero fue necesario sustituirlas por otras del mismo modelo, con un diámetro nominal más pequeño, ya que, para algunos caudales de trabajo, no tenían autoridad hidráulica suficiente como para regular el caudal correctamente.

3.1.3. Realización de ensayos de rendimiento térmico en estado estacionario

Para comenzar con las baterías de ensayos de rendimiento se seleccionaron 2 captadores solares planos, de gama comercial y fabricación nacional, con una característica principal: comparten exactamente todas las propiedades geométricas y materiales, excepto la configuración hidráulica de su absorbedor: tipo parrilla frente a tipo serpiente.

De este modo, se aseguró la independencia de los resultados de ensayo frente a otras consideraciones que no fueran el propio mecanismo de transferencia de calor existente dentro de cada captador, las cuales invalidarían las conclusiones obtenidas. En este sentido, se procedió siempre a realizar los ensayos a la misma vez, (banco *side-by-side*), por la misma persona y con las mismas condiciones exteriores, (temperatura ambiente, radiación solar y viento), y operativas, (caudal y temperatura de entrada a captador).

Una vez terminó el proceso de pruebas y calibraciones de los distintos sensores, la batería de ensayos tuvo una duración aproximada de 2 meses. La Tabla 3.1 muestra el calendario de ensayos y el histórico de acciones realizadas desde la instalación del banco de ensayos en la cubierta de la Escuela de Ingenierías hasta la realización del último ensayo programado.

Tabla 3.1. Calendario de ensayos e histórico de acciones en banco de ensayos

Fecha	Relevancia
13/06/2016	Calibrado sondas PT100 con baño JULABO F20-UC/S
12/07/2016	Primeras pruebas sin captadores. Ajuste canales Agilent 34970. Registro de datos directamente en .xls Excel
22/09/2016	Programa en Matlab realiza ajuste MLR. Obtención de primeras curvas de ensayo
26/09/2016	Necesidad de ensayar con temperaturas más cercanas a T_a en primeras zonas de ensayo, para ajustar ordenada en el origen
14/11/2016	Resuelto problema en sensor de nivel planta termostadora LAUDA
16/11/2016	Sustitución de purgadores y colocación de visores de líquido para evitar situaciones de cambio de fase
24/11/2016	Problemas de regulación de caudal en ensayos con caudales pequeños, imposibilidad de mantener condiciones SST
08/05/2017	Sustitución de válvulas de equilibrado T&A. Mejoras notables en la regulación del caudal
18/05/2017	Comienzo de pruebas de larga duración. Estimación de duración de periodos de preacondicionamiento. Primeros ensayos válidos con tratamiento de datos en Excel, ajuste MLR en Matlab y propagación de incertidumbre asociada
19/05/2017	Ensayo con caudal menor a 40 l/h no es posible de realizar manteniendo MAI estable según norma

3.1.4. Tratamiento de datos de ensayo

Tras cada ensayo, el proceso continuó con un tratamiento de los datos registrados. Para ello se creó una hoja Excel en la que el proceso inicial fue la conversión de medidas de cada señal, desde el valor en bruto registrado, hasta el valor en las unidades de medida necesarias. Por ejemplo, los caudales e irradiancias no se registran directamente en unidades de l/h o W/m², si no que se leen como valores de intensidades de corriente en mA y de tensión en μ V, respectivamente. Por lo tanto, dependiendo de la conversión necesaria a realizar en cada instrumento de medida, se convirtieron las medidas en bruto en medidas con las unidades deseadas para cada canal.

Posteriormente, se realizó un filtrado temporal de los registros, donde se desecharon aquellos correspondientes a zonas previas de las zonas con condiciones de régimen estacionario. De este modo, se eliminaron registros con periodos transitorios, los cuales se dan normalmente durante los preacondicionamientos y fases intermedias de ensayo.

Con la muestra de datos de cada ensayo bien delimitada, se realizó una media temporal de cada 6 valores registrados en cada canal, lo que, para un tiempo de registro de 5 segundos, ofreció valores medios representativos de las condiciones de ensayo por cada 30 segundos. De esta forma se atenuaron los ruidos de señal provocados por la frecuencia de registro seleccionada, facilitando la comprobación posterior de la existencia de condiciones de estado estacionario.

Finalmente se comprobó por cada canal registrado que se disponía de suficientes valores válidos para componer una muestra de datos en cada una de las cuatro zonas del ensayo, y que, además, dichos valores cumplieran con lo requerido por [EN12975, 2006]. En caso contrario, el ensayo se consideró como no válido. Para cada caudal de ensayo analizado se necesitaron al menos 2 ensayos válidos, realizados en 2 días distintos, para cada captador.

3.1.5. Ajuste MLR y obtención de los coeficientes característicos de las curvas de eficiencia

Tras obtener los valores finales de cada ensayo en una hoja Excel, se realizó un ajuste estadístico MLR, (*Multi Lineal Regression*), en Matlab. Con este proceso se obtuvieron los 3 coeficientes característicos que definen la curva de eficiencia de cada ensayo, lo cual permitió representar las curvas de cada captador para cada caudal ensayado.

La utilidad de estas curvas es obtener una predicción del valor del rendimiento térmico que se espera que tenga cada captador, dependiendo de las condiciones de trabajo existentes: temperatura ambiente, radiación solar, temperatura de entrada a captador y caudal. El inconveniente principal es que estas curvas no suelen estar afectadas por la incertidumbre de medida, debiendo analizarse y propagarse la incertidumbre de los sensores utilizados en los ensayos en un proceso posterior.

3.1.6. Propagación de la incertidumbre de ensayo

Tras realizar el proceso de ajuste MLR, se obtuvieron los 3 coeficientes característicos de la curva de eficiencia de cada ensayo, los cuales sirvieron como semilla para realizar un proceso de propagación de incertidumbre utilizando una hoja Excel. En este proceso se precisó conocer las incertidumbres en la medida de cada sensor, las cuales fueron tomadas de la hoja de especificaciones técnicas y calibraciones correspondiente.

Posteriormente, los 3 valores discretos obtenidos para los coeficientes característicos de la curva de eficiencia se transformaron en 3 umbrales de probabilidad. Esto permitió que, al dibujar la curva de eficiencia del ensayo del captador, en vez de obtener una línea definida, se obtenga un área delimitada por 2 umbrales, máximo y mínimo. Hablaríamos entonces de zonas donde existe mayor probabilidad de encontrar el rendimiento del captador ensayado en lugar de valores específicos de rendimiento, los cuales no tendrían validez por sí solos, al no tener en cuenta las precisiones de los sensores utilizados.

3.1.7. Obtención de curvas de ensayo para distintos caudales y por cada captador

Tras propagar la incertidumbre de medida a todos los ensayos, se generó una base de datos con las curvas obtenidas, por cada captador y para cada caudal ensayado.

Finalmente, se realizaron varias simulaciones con el software de cálculo AcSol 2.5, basado en TRNSYS, analizando la importancia del caudal de trabajo en los resultados energéticos finales de toda la instalación solar para ACS. En este apartado, se tuvieron en cuenta variables económicas como costes iniciales, costes de operación o periodos de amortización, así como las distintas variables dependientes del dimensionado de cada subsistema de la instalación, cumplimiento de normativa, pérdidas de carga, etc.

3.2. Presentación de componentes utilizados. Dotación del banco de ensayos y captadores

Los elementos con los que se ha trabajado para la obtención de ensayos reproducibles y con ausencia de fallos son:

1. Banco de ensayos
2. Planta termostadora
3. Sondas de temperatura
4. Caudalímetros
5. Piranómetros
6. Anemómetro
7. Datalogger
8. Captadores solares térmicos

Todos ellos cumplen lo requerido en la norma, como puede verse en las hojas técnicas, (*datasheets*), y en los certificados de calibración, incluidos en el Anexo I. Esta consideración es indispensable para el proceso de propagación de incertidumbre de medida a los resultados de ensayo. La Tabla 3.2 muestra una comparación entre la precisión requerida por esta norma y la precisión de los sensores con los que se trabajó. Se justificará que la peor precisión de los sensores de temperatura de fluido y de irradiación no afecta a la precisión de los resultados obtenidos.

Tabla 3.2. Comparativa entre la precisión requerida para los sensores por la norma EN12975 y la instalada en el banco de ensayos

Medida	SST EN12975-2:2006	Banco de ensayos UMA
Temperatura de fluido	$\pm 0,1$ K	$\pm 0,2$ K
Irradiación	Clase I	Clase II
Temperatura ambiente	$\pm 0,5$ K	$\pm 0,2$ K
Caudal	± 1 %	$\pm 0,25$ %

3.2.1. Banco de ensayos

El banco de ensayos que se utilizó durante la investigación se muestra en la Fig.3.1 Este tipo de banco se conoce como side-by-side, ya que permite la realización de ensayos de rendimiento térmico de forma simultánea a 2 captadores, los cuales van a estar sometidos a las mismas condiciones de trabajo, y por tanto, van a obtener resultados comparables, siendo estos independientes de factores ambientales o humanos

Su configuración hace que tenga 1 solo grado de libertad, en cuanto al ángulo de inclinación de captadores β , el cual se puede modificar por la persona encargada del ensayo actuando sobre un mecanismo de doble polea. En cuanto a la modificación del ángulo acimut, solo es posible realizarlo con la ayuda de varias personas, ya que debe girarse todo el banco sobre sus ruedas, lo cual no es operativo si solo existe un operario.

Durante los ensayos, no fue necesario variar ni el acimut ni la inclinación, ya que se comprobó el valor del ángulo de incidencia de la radiación solar en el plano de captación mediante un puntero instalado a tal efecto, no desviándose este valor de lo estipulado en la norma, la cual fija el valor del MAI, (modificador del ángulo de incidencia), durante cada ensayo. Este puntero se muestra en la Fig. 3.2.



Figura 3.1. Banco de ensayos utilizado durante la investigación



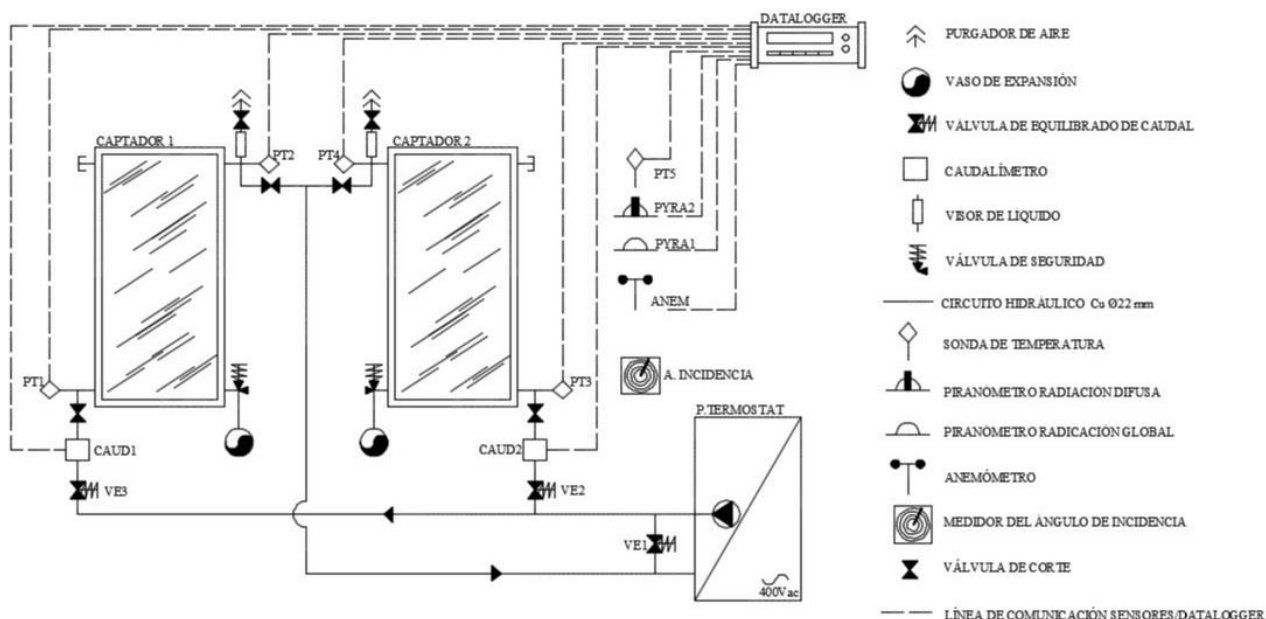
Figura 3.2. Puntero solar para la medición del ángulo de incidencia en plano de captación

El circuito hidráulico que sirvió para recircular el fluido de trabajo hacia los captadores desde la planta termostatadora se representa en la Fig.3.3. Dicho circuito conecta en paralelo a los dos captadores con la planta termostatadora, y, además, dispone de un bypass para recircular fluido hacia dicha planta. Esto se debe a la necesidad de regular el caudal de impulsión mediante una válvula de equilibrado estático situada en bypass, puesto que la bomba trabaja a caudal constante.

Además de esta válvula de equilibrado, se instalaron 2 válvulas de equilibrado estático adicionales, una por cada ramal de alimentación a captadores, justo antes de los caudalímetros, respetando las distancias hidráulicas necesarias indicadas por el fabricante. Dichas válvulas son del fabricante TA HYDRONICS, modelo STAD, como se muestra en la Fig. 3.4, y regulan de forma precisa el caudal al que trabaja cada captador. Son necesarias por 2 motivos.

En primer lugar, porque la pérdida de carga de cada captador puede ser distinta, según su configuración hidráulica. Por lo tanto, se necesitan regulaciones distintas, lo que se hace posible seleccionando válvulas con un DN que permita que se tenga autoridad en la regulación del caudal.

En segundo lugar, conforme las propiedades físicas del fluido de trabajo van cambiando al ir incrementando la temperatura del fluido durante el ensayo, (densidad y viscosidad), se precisa regular el caudal para ajustarlo y que se cumpla lo indicado en el método SST de la norma, en cuanto a máximas variaciones permitidas entre periodos de ensayo.



Además de las citadas válvulas de equilibrado, el circuito hidráulico dispone de 1 vaso de expansión y 1 válvula de seguridad en la zona inferior de cada captador, así como 1 visor de líquido y 1 purgador de aire, ubicados en la zona alta de cada captador, los cuales sirvieron para comprobar la inexistencia de burbujas de aire acumulado ni condiciones de ebullición durante los ensayos, ya que esto invalidaría las medidas de caudal y temperatura. Se muestran en la Fig. 3.5.

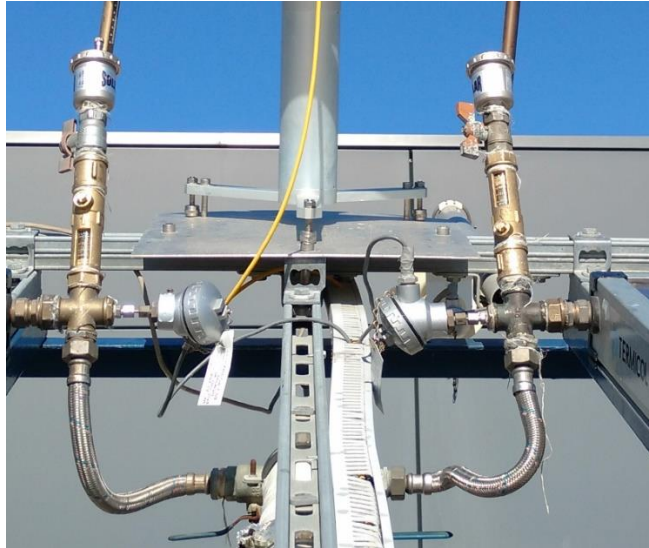


Figura 3.5. Visores de líquido, sondas, purgadores y llaves de corte conectados a crucetas de $\frac{3}{4}$ "

3.2.2. Planta termostatadora

Para garantizar una temperatura de trabajo acorde a los requisitos necesarios en cada fase de los ensayos, se utilizó una planta termostatadora LAUDA T4600, como se muestra en la Fig.3.6.



Figura 3.6. Planta termostatadora LAUDA T4600

Dicha planta dispone de una bomba circuladora que trabaja a caudal constante, y que hace que el fluido de trabajo pase a través de 2 zonas donde se modifica su temperatura. La primera zona, consiste en un intercambiador de calor gas refrigerante-agua, de 7 kW de capacidad, el cual forma parte de un circuito bomba de calor por compresión de vapor, y que funciona en modo frío o modo calor, dependiendo de la temperatura consignada en su display por el usuario. A continuación, el fluido de trabajo se introduce

en un pequeño depósito de acumulación que se encuentra a presión atmosférica, donde existe una resistencia por efecto Joule de 6 kW que regula de forma más precisa la temperatura de salida del fluido, con una tolerancia de 0,2 °C.

Debido a que el depósito mencionado queda abierto a la atmósfera, sirve como punto de desagüe de todo el circuito hidráulico del banco de ensayos. Las presiones de trabajo quedan limitadas, por lo que no puede trabajarse con valores de sobrepresiones que eviten problemas de cambio de fase cuando la temperatura del fluido se acerca a los 100°C.

3.2.3. Sondas de temperatura

Las sondas instaladas pertenecen al fabricante TC INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL, siendo del tipo PT100, tetrafilares y clase 1/10, con una precisión en la medida de 0,2 °C. Su colocación se estudió para que la vaina quedará inmersa en el centro de las secciones de las tuberías de entrada y salida de captador, utilizando para ello un portasondas atornillado a una cruceta de latón de 3/4". De esta forma, se aprovechó para evitar que pudieran quedar burbujas de aire en contacto con la vaina de medida, ya que todo el aire fue expulsado verticalmente hacia el purgador en la zona superior del captador, comprobándose a través de los visores de líquido. La Fig. 3.7 muestra el tipo de sondas utilizadas.



Figura 3.7. Sonda PT100 4 hilos clase 1/10

Antes de iniciar los ensayos, se comprobó que las 5 sondas tuvieran un comportamiento similar en su medida haciendo registros de temperatura a lo largo del tiempo utilizando un baño de calibración JULABO F20, como se muestra en la Fig. 3.8. Este proceso descartó la necesidad de aplicar un escalado del tipo $Mx+B$ en el datalogger, (estableciendo un valor de *gain* y de *offset*) para aquellas sondas que tuvieran desviaciones superiores a las ofrecidas por el fabricante. En la Fig. 3.9 se muestra un ejemplo de la señal registrada por las 5 sondas en el baño de calibración, donde la desviación máxima de la medida queda dentro de la tolerancia publicada por el certificado de calibración del fabricante, (0,2°C), el cual se incluye en el Anexo I.



Figura 3.8. Calibración conjunta de sondas PT100 en baño de calibración JULABO F20

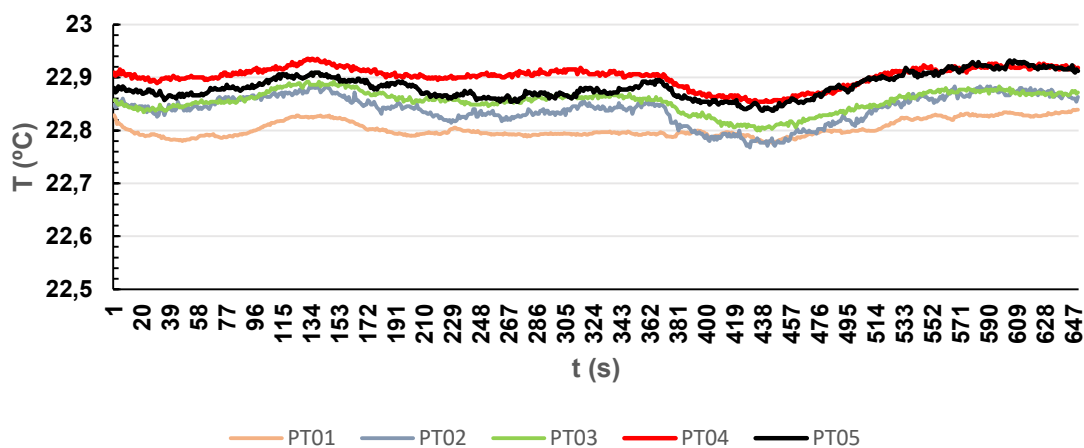


Figura 3.9. Registro temporal de las 5 sondas PT100 en baño de calibración JULABO F20

3.2.4. Caudalímetros

La medida del caudal circulante por cada captador fue obtenida gracias a 2 caudalímetros electromagnéticos SIEMENS SITRANS FM MAGFLO 1100, con un paso calibrado DN3, siendo 200 l/h el caudal límite para garantizar un error de medida inferior al 0,2%. Se muestran en la Fig. 3.10.

Cada caudalímetro se conectó a un cabezal SIEMENS MAG 6000, que convirtió la señal para poder ser leída en el display durante los ensayos, además de quedar registrada en el datalogger como intensidad de corriente en mA. En este sentido, para obtener el valor de caudal se precisó realizar una interpolación lineal, siendo 4 mA el valor correspondiente a caudal nulo, 0 l/h, y 20 mA el valor correspondiente al máximo caudal, previsto en fábrica para un paso calibrado DN3, es decir, 100 l/(h m²). Dicho caudal máximo se considera suficiente para los caudales típicos de instalaciones solares destinadas a preparación de ACS.



Figura 3.10. Regleta de conexiones, paso calibrado y cabezal de los caudalímetros instalados

3.2.5. Piranómetros

Para medir la radiación solar incidente en el plano de captación se utilizó una combinación de 2 piranómetros del fabricante KIPP & ZONEN. La radiación difusa, G_d , fue medida con un piranómetro modelo CM21, al que se le acopló un disco solar regulable que eliminara la radiación solar directa, G_b , tal y como muestra la Fig. 3.11. Para la medida de la radiación solar global sobre plano de captadores, G_T , el modelo instalado fue el CMP21. Ambos piranómetros son Clase II, según la norma ISO 9060. Los errores en la medida de estos dos sensores son del 1,41% para el modelo CM21 y del 1,35% para el modelo CMP21.



Figura 3.11. Piranómetros instalados. Superior con disco solar para medida de G_d

Durante los ensayos, se comprobó en todo momento que la radiación solar difusa no superará el 30% del valor de la radiación global, requisito propuesto por la norma para el método SST. La señal producida por estos sensores es de μV , debiendo transformarse en W/m^2 utilizando al factor de conversión facilitado en las hojas de calibración del fabricante, las cuales se encuentran en el Anexo I.

3.2.6. Anemómetro

Para comprobar que durante todos los ensayos se tuvo un nivel de viento similar, (descartando la influencia de éste en las pérdidas energéticas desde la cubierta de captadores), se utilizó un anemómetro de paletas VAISALA, modelo WAA151. Su tolerancia en la medida fue de $\pm 0,17 \text{ m/s}$, y en todos los ensayos la velocidad del aire en el plano de captación quedó dentro del rango 1 a 3 m/s. Dicho equipo se muestra en la Fig. 3.12.



Figura 3.12. Anemómetro VAISALA WAA151

3.2.7. Datalogger

Toda la instrumentación formada por el conjunto de sensores quedó conectada a la tarjeta multiplexora de un datalogger AGILENT, modelo 34970A, tal y como se muestra en la Fig. 3.13. Dicho datalogger se programó para registrar un total de 10 canales con una frecuencia de muestreo de 5 segundos. Las variables medidas por los distintos canales pueden observarse en la Tabla 3.3, mientras que el esquema de conexionado del datalogger y de los sensores se encuentra en el Anexo II.



Figura 3.13. Sensores y cableado conectados para prueba de datalogger AGILENT 34970A

Tabla 3.3. Variables registradas cada 5 segundos por cada sensor conectado a los canales del datalogger

Variable de medida en el canal	Tipo de sensor	Incertidumbre
Radiación Global G_T (W/m^2)	Piranóm. Kipp&Zonen Clase II	1,35 %
Radiación Difusa G_d (W/m^2)	Piranóm. Kipp&Zonen Clase II I	1,41 %
Caudal captador #1 (l/h)	Caudalím. Electromag. Siemens	0,2 %
Caudal captador #2 (l/h)	Caudalím. Electromag. Siemens	0,2 %
Temperatura entrada captador #1 ($^{\circ}C$)	PT100 4 hilos TC Clase 1/10	$\pm 0,2$ K
Temperatura entrada captador #2 ($^{\circ}C$)	PT100 4 hilos TC Clase 1/10	$\pm 0,2$ K
Temperatura salida captador #1 ($^{\circ}C$)	PT100 4 hilos TC Clase 1/10	$\pm 0,2$ K
Temperatura salida captador #2 ($^{\circ}C$)	PT100 4 hilos TC Clase 1/10	$\pm 0,2$ K
Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)	PT100 4 hilos TC Clase 1/10	$\pm 0,2$ K
Velocidad aire (m/s)	Anemómetro Vaisala	$\pm 0,17$ m/s

3.2.8. Captadores solares térmicos ensayados

Los captadores adquiridos para realizar la batería de ensayos de la investigación fueron seleccionados de entre varias opciones comerciales, siendo los más adecuados ya que comparten toda la tipología de materiales y dimensiones, aunque su configuración hidráulica sea distinta, (parrilla-serpentin), punto que rara vez se encuentra en el mercado actual. Se muestran en la Fig. 3.14.

Su calidad es alta, como suele ocurrir con captadores de gama selectiva, y disponen de certificado *Solar Keymark*. Son fabricados por la firma española TERMICOL, siendo el modelo T20US el de absorbedor parrilla y el T20MS el de absorbedor serpentín, ambos para instalación vertical y con $1,9 \text{ m}^2$ de superficie útil. Todas las especificaciones técnicas pueden consultarse en la Tabla 3.4, mientras que la hoja técnica del fabricante se incluye en el Anexo III.



Figura 3.14. Captadores solares ensayados. Izquierda tipo parrilla, derecha, serpentín

Los 2 modelos de captador se adquirieron unos meses antes de comenzar con los ensayos, siendo su fecha de fabricación de 2 meses anteriores a la de comienzo de los ensayos, por lo que ninguno quedó almacenado ni sufrió las inclemencias del tiempo. Tras realizar toda la batería de ensayos, se desmontó la cubierta de vidrio y se comprobó la ausencia de fugas o deformaciones en el absorbedor de cada captador, por lo que su funcionamiento fue el esperado.

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas de los 2 captadores ensayados

Dimensiones	T20US (parrilla)	T20MS (serpentin)
Longitud (mm)		2.130
Anchura (mm)		970
Espesor (mm)		83
Área bruta (m ²)		2,07
Absorbedor		
Longitud (mm)		2.088
Anchura (mm)		925
Área útil (m ²)		1,93
D _{ext} Tubos verticales x espesor (mm)		8 x 1
D _{ext} Tubos distribuidores x espesor (mm)		18 x 1
Tipo	8 tubos paralelos	1 Serpentin
Material	Selectivo, aluminio-CERMET sputtering	
Soldadura		Láser
Absortividad (%)		95
Emisividad (%)		5
Aislamiento		
Tipo		Posterior
Longitud x Anchura (mm)		2.100 x 960
Espesor (mm)		40
Conductividad térmica (W/(mK))		0,034 (a 20 °C)
Vidrio		
Tipo	Templado, bajo contenido en Fe ₂ O ₃	
Grosor (mm)		3,2
Transmisividad solar (%)		>90
Otros		
Capacidad (l)	1,02	1,29
Peso (kg)	37	32

3.3. Ensayos de rendimiento térmico según el método de estado estacionario de la norma EN12975-2:2006

La norma europea EN12975-2:2006, la cual sustituye a la anterior EN12975-2:2001, es el estándar actual que fija las condiciones de ensayo de sistemas solares térmicos y sus componentes. En particular, su Parte 2 se ocupa de especificar los distintos métodos de ensayo, siendo estos los únicos aprobados por el Comité Europeo de Normalización, (CEN).

En su desarrollo, la norma establece diferentes procedimientos de ensayo de captadores de una forma muy definida. Dentro de los distintos ensayos que contiene, se proponen 2 métodos de obtención del rendimiento térmico de captadores: el ensayo en estado estacionario, (SST "*Steady State Test*"), y el ensayo cuasi-dinámico, (QDT "*Quasy Dynamic Test*").

Para cada método se establecen unas condiciones de realización, tanto para ensayos en exterior, como para ensayos en interior. En caso de que los ensayos se realicen en el exterior, la irradiancia solar será real, mientras que el viento podrá ser real o simulado mediante un generador de viento. Si el ensayo es en interior, todas las condiciones de ensayo serán simuladas, siendo más controlable el ensayo y no quedando sujeta su realización a las condiciones meteorológicas existentes.

En esta tesis, se ha seguido el proceso indicado por la norma para el método de ensayo de rendimiento térmico en estado estacionario, y dentro de este método, nos centraremos en el ensayo de captadores solares térmicos planos con cubierta. Como limitación importante, este método no es aplicable a sistemas de captadores en los que el sistema de acumulación sea parte integral del captador, donde no es posible separar físicamente los procesos de captación y de almacenamiento de energía.

El vocabulario utilizado en la norma sigue las referencias mostradas en la norma EN ISO 9488, mientras que las características de los instrumentos para la medida de la radiación solar se pueden consultar en la norma ISO 9060. Esta norma no solo se ocupa del ensayo de rendimiento térmico, sino que también especifica las condiciones de otros ensayos, como los indicados en la Tabla 3.5. Como dato a considerar para el caso de realización de varios ensayos a un mismo modelo de captador, en el ensayo de rendimiento térmico debe utilizarse un captador que no haya sido utilizado en ningún otro tipo de ensayo.

Tabla 3.5. Lista de ensayos para captadores solares térmicos según norma EN12975-2:2006

Apartado de la norma EN12975-2:2006	Ensayo
5.2	Presión interna
5.3	Resistencia a alta temperatura
5.4	Exposición
5.5	Choque térmico externo
5.6	Choque térmico interno
5.7	Penetración de lluvia
5.8	Resistencia a heladas
5.9	Carga mecánica
5.10	Resistencia al impacto, (opcional)
6.1-6.2-6.3	Rendimiento térmico

3.3.1. Realización del método de ensayo en estado estacionario

Para la realización del método de ensayo SST en captadores solares con cubierta, la norma fija unas condiciones de realización que afectan a los siguientes puntos de control:

1. Montaje del captador y localización
2. Instrumentación
3. Instalación de ensayos
4. Ensayo de rendimiento térmico en estado estacionario al exterior
5. Ensayo de rendimiento térmico en estado estacionario con simulador de irradiancia
6. Determinación de la capacidad térmica efectiva y de la constante de tiempo del captador
7. Modificador del ángulo de incidencia del captador
8. Determinación de la caída de presión a lo largo del captador

A continuación, se establecerá una breve descripción de los puntos de control que se tuvieron en cuenta durante la investigación realizada, los cuales fueron el 1, 2, 3 y 4. Además, se especificará por qué no fue necesario establecer el modificador del ángulo de incidencia, (MAI), durante los ensayos, según el punto de control 7.

3.3.2. Montaje de los captadores y localización

Se tuvo presente que la parte inferior de ambos captadores ensayados, una vez ubicados en el banco de ensayos, quedara a más de 0,5 m de altura sobre el suelo. En todo momento el ángulo acimut fue de 0°, ya que la cubierta donde se realizaron los ensayos permitió una orientación sur perfecta.

Este ángulo acimut fijo limitó el tiempo disponible para la realización de cada ensayo, ya que, como se verá más adelante, el ángulo de incidencia durante los ensayos debe quedar acotado entre $0 \pm 20^\circ$, (y en caso contrario deberá cuantificarse el valor que tome el modificador del ángulo de incidencia), y además, se deben obtener igual número de registros de ensayo antes y después del mediodía solar.

En cuanto a la irradiancia, no existió ninguna zona de captadores sombreada, ni restricciones en el campo de visión de los captadores durante el ensayo. Tampoco existieron superficies cercanas muy reflexivas, como pueden ser zonas metálicas, acristaladas o con agua.

3.3.3. Medida de la radiación solar

Para la instrumentación a utilizar durante los ensayos, la norma establece la clasificación de cada sensor en cuanto a tipo y precisión. En particular, para la radiación global de onda corta, la norma establece que se utilizarán piranómetros de Clase I o superior según la norma ISO 9060. Este aspecto no se cumplió con los piranómetros instalados, que fueron Clase II, pero su precisión si fue la necesaria para los objetivos propuestos.

Ambos piranómetros fueron instalados con antelación a cada ensayo, para permitir que su medida se estabilizara durante al menos 30 minutos, limpiando sus esferas de cualquier signo de polvo o suciedad, además de comprobar y sustituir el gel de sílice que disponen en su depósito interior, para evitar condensaciones. Todas estas precauciones surgen debido a la dependencia que tienen las medidas de radiación respecto a las condiciones ópticas del piranómetro, muy sensibles al polvo y a la humedad.

El montaje de los 2 piranómetros fue coplanar con los planos de apertura de ambos captadores ensayados, y el piranómetro de mayor precisión, usado para la medición de

la radiación global G_T , quedó instalado en el centro de ambos captadores, a media altura, como se observa en la Fig. 3.11.

3.3.4. Medida de temperaturas

En cuanto a la medida de temperaturas de fluido, (t_{in} y t_{out}), la norma especifica una precisión de 0,1 K con una resolución de señal de $\pm 0,02$ K. Este aspecto no se cumplió por las sondas instaladas, pues como ya se indicó en la Tabla 3.2, las sondas fueron calibradas con una precisión de 0,2 K. Sin embargo, como ya se ha indicado con los piranómetros, su precisión sí fue la requerida para los objetivos fijados al inicio de la investigación, y además, se cumplieron todos los demás requisitos presentados en la norma en cuanto a su colocación.

Las 4 sondas PT100 para registro de temperaturas de fluido se instalaron a menos de 200 mm de la entrada o salida del fluido de cada captador, se aislaron térmicamente, y se instaló un dispositivo para el control y eliminación de aire.

Por su parte, la sonda PT100 para medida de la temperatura exterior ambiente, t_a , requiere una precisión de 0,5 K según norma, lo cual se cumplió, además de quedar sombreada de toda radiación solar por medio de un protector de plástico blanco aireado, utilizado en centrales meteorológicas, mostrado en la Fig. 3.15.



Figura 3.15. Ubicación de la sonda para medida de temperatura ambiente exterior

3.3.5. Medida de caudal

Para la medida del caudal circulante por el interior de los captadores, la norma indica que se deberá obtener el caudal másico a partir de la densidad y del caudal volumétrico, y establece una incertidumbre típica máxima de la medida menor al 1% en masa por unidad de tiempo. En nuestro caso, los caudalímetros instalados ofrecen un error máximo dentro de los rangos de caudal medidos del 0,25%, mientras que, para calcular la densidad del fluido, se aplicó la Ec.3.1, incluida en el Anexo I de [EN12975, 2006].

Como temperatura de referencia ϑ , se utilizó la temperatura de entrada a captadores t_{in} . Esta aproximación consigue que el cálculo de la densidad se desvíe menos del 0,2% de los resultados publicados en tablas, con un valor R^2 de 0,99998.

$$\rho(\vartheta) \text{ (kg/m}^3\text{)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3 + a_4 \vartheta^4 \quad (3.1)$$

(Para $0 \leq \vartheta \leq 99,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Siendo:

$$a_0 = 999,85$$

$$a_1 = 6,187 \cdot 10^{-2}$$

$$a_2 = -7,654 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = 3,974 \cdot 10^{-5}$$

$$a_4 = -1,110 \cdot 10^{-7}$$

3.3.6. Medida de la velocidad del aire

Debido a que la velocidad del aire afecta al rendimiento de los captadores, la norma establece que deberá medirse ésta sobre el captador ensayado, aunque no especifica que deba medirse también la dirección del aire. La precisión requerida para el registro de esta variable es de 0,5 m/s, por lo que el anemómetro utilizado cumple este requisito, como se puede comprobar en la Tabla 3.3. Para ensayos al exterior y en caso de que la velocidad del aire sea menor a 2 m/s, se precisa la instalación de un sistema artificial para la generación de viento, como puede ser una cortina de aire. Todos los ensayos se realizaron con niveles de viento similares, sin necesidad de instalar cortina de aire.

Los valores registrados de viento en todos los ensayos quedan comprendidos entre 1,42 m/s y 2,93 m/s, con un valor medio de 2,33 m/s, por lo que, aunque no se cumpliera estrictamente lo indicado en la norma, todos los ensayos han tenido unas condiciones similares en cuanto a velocidad de aire, asegurando que los valores de los coeficientes de convección de pérdidas térmicas debidos al viento sean semejantes.

3.3.7. Medida del intervalo de tiempo e instrumentación para el registro de datos

El intervalo de tiempo debe medirse con una incertidumbre típica del 0,2%, tal y como estipula la norma. Este punto se cumplió con las características del datalogger instalado. En cuanto a la instrumentación requerida para el registro de los datos de medida, la norma establece que su error debe ser $\leq 0,5\%$ de la lectura del fondo de escala, con una constante de tiempo ≤ 1 s. Además, la impedancia de entrada del datalogger debe ser mayor a 1000 veces la impedancia de los sensores, o al menos, superior a 10 M Ω . Este punto se cumplió con el equipo instalado.

3.3.8. Medida del área del captador

Para estimar de una forma precisa el área del captador ensayado, la norma especifica que, para cualquiera de las áreas a considerar, (apertura, absorbedor o total), se deberá medir con una incertidumbre típica del 0,3%, estando la placa absorbedora a una temperatura de $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$. En nuestro caso, se midió la superficie de apertura y se comprobó que coincide con el dato ofrecido por el fabricante, siendo similar en ambos captadores. El área del absorbedor utilizada para los cálculos de rendimiento fue la ofrecida por el fabricante, coincidiendo con la que aparece en la hoja del ensayo de homologación de los 2 captadores en el Boletín Oficial del Estado, contraseñas NPS-7015 para el tipo serpentín y NPS-6818 para el tipo parrilla.

3.4. Instalación de ensayos

La norma propone 2 configuraciones del circuito de ensayo de captadores que empleen líquido como fluido de transferencia de calor: bucle cerrado y bucle abierto. La principal diferencia reside en el circuito de ensayos, siendo estanco únicamente en el caso de bucle cerrado, y permitiendo ensayar con mayores presiones relativas, lo que se traduce en mayor facilidad para ensayar en la zona de temperaturas de entrada cercanas a 100°C.

Para el fluido de transferencia de calor, la norma propone utilizar agua o cualquier fluido específico recomendado por el fabricante del captador. En cualquier caso, se deben conocer sus propiedades físicas y la variación de éstas con la temperatura. En concreto, se necesitará estimar tanto el calor específico C_p , como la densidad del fluido, ρ , en función de una temperatura de referencia, ϑ .

Como ya se ha indicado en la Ec.3.1, para la densidad del agua se utilizó el polinomio propuesto por la norma, referenciado a la temperatura de entrada t_{in} . En el mismo Anexo I de la norma se facilita otro polinomio para el cálculo del calor específico del agua a 1 bar de presión, pero en esta ocasión se estimó utilizar como temperatura de referencia a la temperatura media de masa del fluido en el absorbedor t_m , ya que la utilidad de conocer el calor específico del agua circulante no será otra que la de estimar el calor cedido por el captador al agua, y durante este proceso la temperatura media es la más representativa del estado térmico de todo el absorbedor. La Ec. 3.2 muestra el polinomio propuesto por la norma para el cálculo del calor específico del agua, con una desviación frente a los valores publicados en tablas menor al 0,2% y un valor R^2 de 0,9994.

$$C_p(\vartheta) \text{ (kJ/(kg K))} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3 + a_4 \vartheta^4 + a_5 \vartheta^5 \quad (3.2)$$

(Para $0 \leq \vartheta \leq 99,5 \text{ }^\circ\text{C}$)

Siendo:

$$a_0 = 4,217$$

$$a_1 = -3,358 \cdot 10^{-3}$$

$$a_2 = 1,089 \cdot 10^{-4}$$

$$a_3 = -1,675 \cdot 10^{-6}$$

$$a_4 = 1,309 \cdot 10^{-8}$$

$$a_5 = -3,884 \cdot 10^{-11}$$

Para asegurar unas propiedades constantes, antes de cada ensayo el circuito hidráulico se llenó con agua de red, siendo desaguada al finalizar cada ensayo, garantizando así la eliminación de los residuos producidos como cal y suciedad. Las tuberías de cobre instaladas en el circuito hidráulico son resistentes a las condiciones de ensayo, (temperaturas cercanas a 100°C), y al fluido de trabajo, que siempre fue agua. Se proyectaron tramos lo más cortos posibles para evitar el efecto térmico de las condiciones exteriores en el fluido durante los ensayos.

En cuanto a la desviación permitida de caudal durante los ensayos, la norma fija una variación máxima del 1%, lo que precisa la instalación de las válvulas de equilibrado y regulación de caudal mencionadas en el apartado anterior.

3.5. Procedimiento de ensayo en estado estacionario al exterior

El método de ensayo SST se basa en hacer circular el fluido de trabajo a través del captador ensayado, con la entrada de fluido conectada en la parte inferior del captador y la salida en la parte superior. Teniendo en cuenta la configuración hidráulica del absorbedor, se garantizará que circula fluido por todo el absorbedor y que no existen cortocircuitos hidráulicos o recorridos desfavorables en algunas zonas del captador. Durante la duración del ensayo se mantiene un caudal fijo y se van registrando con un paso de tiempo determinado las distintas variables de medida, necesarias para obtener información sobre el comportamiento térmico del captador, (caudal, temperaturas de entrada y salida de fluido, temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del aire). Cada variable se registró en un canal del datalogger determinado.

Para que el proceso de ensayo sea repetible, la norma fija unas condiciones en su ejecución. Estas condiciones buscan garantizar que factores externos, como el propio operario del ensayo o las condiciones ambientales, tengan una influencia nula en los resultados obtenidos. En general, la norma especifica cómo se deben realizar las siguientes etapas:

1. Preacondicionamiento del captador
2. Comprobación de las condiciones de ensayo
3. Procedimiento de ensayo
4. Toma de medidas
5. Períodos de ensayo
6. Presentación de resultados
7. Cálculo de la producción del captador

3.5.1. Preacondicionamiento del captador

Diariamente, antes de cada ensayo, se procedió a comprobar visualmente el captador y el circuito hidráulico del banco de ensayos, en busca de algún indicio de fuga o daño que falseara los datos del ensayo o que pudiera invalidarlo. A continuación, a primera hora de la mañana y con bajos niveles de radiación, se limpió con agua y un cepillo la cubierta de cada captador y se procedió a limpiar la esfera de cada piranómetro. En este proceso es indispensable intentar no introducir agua en el interior del captador, ya que, durante el ensayo posterior, con elevada radiación, ésta se evaporaría, produciendo condensaciones internas entre la cubierta y el absorbedor. Finalmente, antes de proceder a encender la planta termostadora, se llenó el circuito con agua de red.

Una vez que el circuito tiene el nivel de fluido óptimo indicado por la planta termostadora, se necesita hacer circular agua a una temperatura determinada y garantizar que no existe aire en las tuberías. Para poner a régimen el captador y todo el banco de ensayos se encontró que la combinación más útil fue circular agua a 80°C con un caudal de 180 l/h. De este modo las burbujas de aire contenidas en el circuito se eliminan fácilmente por los purgadores, que permanecen abiertos mientras se comprueba que no sale más aire a través de los visores de líquido, momento en el que se cierran las llaves de corte hacia purgadores.

Durante todo este proceso desde primera hora del día, los captadores recibieron radiación solar y estuvieron colocados totalmente verticales, con un ángulo de inclinación $\beta=90^\circ$, ya que de esta forma el agua de limpieza era eliminada por gravedad y se facilitaba que todo el aire interior de las tuberías se eliminara por purgadores, por ser estos el punto más alto del circuito hidráulico.

Este periodo de puesta a régimen del circuito y captadores duraba hasta 2 h antes del inicio del ensayo, donde ya se configuraba una temperatura de planta termostadora cercana a la temperatura ambiente t_a , (normalmente unos 6°C inferior), para garantizar que al comenzar el ensayo, ya se tuvieran las condiciones previstas en el circuito de ensayo en la primera etapa, la cual busca obtener el valor de rendimiento óptico del captador η_0 , y que se da para una temperatura media reducida T^* igual a 0.

Esto se explica debido a que la temperatura media reducida se obtiene según la Ec.3.3, y para que su valor sea igual a 0 hay que buscar que la temperatura media de captadores t_m sea igual a la temperatura ambiente t_a :

$$T^* = \frac{t_m - t_a}{G_T} \quad (3.3)$$

Como la temperatura media en el captador se calcula según la Ec. 3.4, y el salto térmico nominal ΔT del captador en condiciones óptimas de rendimiento suele rondar los 10 °C, la temperatura de entrada t_{in} buscada para la primera etapa suele quedar 5°C por debajo de la temperatura ambiente. Incluso las temperaturas medias reducidas negativas son válidas para obtener buenos registros que permitan calcular el valor del rendimiento óptico del captador η_0 .

$$t_m = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} = \frac{t_{in} + (t_{in} + \Delta T)}{2} = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \cong t_{in} + 5 \quad (3.4)$$

Para justificar que se comenzara la puesta a régimen con 2 horas de antelación, hay que tener en cuenta la capacidad frigorífica que presenta la planta termostadora, y la carga térmica que tiene que vencer en el instante de empezar a enfriar el agua del circuito tras el preacondicionamiento inicial: agua circulando a 80°C por 2 captadores orientados al sur con un total de 4 m², y que reciben una radiación solar cercana a los 1.000 W/m².

Esto también explica la necesidad de realizar los ensayos con etapas crecientes en cuanto a temperatura de entrada, ya que de lo contrario el ensayo no se podría realizar en un solo día por la limitación de tiempo, (para que el MAI no comience a tener influencia), y de capacidad frigorífica.

En cuanto a la irradiancia solar hemisférica sobre el plano de captadores, en todos los ensayos se superó el valor mínimo de 700 W/m² que establece la norma, debido a la época del año, hora solar y nubosidad existente en los días seleccionados. En este sentido, fue de gran ayuda la consulta del pronóstico meteorológico semanal y diario en la web del radar-satélite <https://en.sat24.com/en>, ya que cualquier condición con un nivel de radiación difusa superior al 30% de la radiación total supone que el ensayo no sea válido, punto a tener en cuenta, dada la climatología malagueña durante el verano, con altos índices de humedad que aumentan el valor de G_d .

El uso del puntero solar para la comprobación del ángulo de incidencia en cada momento de los primeros ensayos de prueba permitió programar la duración de los ensayos definitivos. Se estableció la hora de comienzo del primer periodo de ensayo para cumplir el requisito de la norma: *“...si las condiciones del ensayo lo permiten, deberían registrarse igual número de datos antes y después del mediodía solar...”* Para ello, se comenzaron los ensayos justo cuando el puntero solar indicaba que la variación del ángulo de incidencia respecto a la normal era inferior a -20°, finalizando con valores

inferiores a $+20^\circ$. En la Tabla 3.6 se resumen las horas de inicio y final de cada etapa de ensayo, mientras que en la Tabla 3.7 se muestran datos de los valores de variación angular frente a la incidencia normal, velocidad del aire y porcentaje de radiación difusa frente a radiación global, durante cada etapa de ensayo.

Tabla 3.6. Horas de comienzo y final de cada etapa de ensayo

Ensayo	Etapa 1			Etapa 2		
	Inicio Preac.	Inicio Regist.	Final Regist.	Inicio Preac.	Inicio Regist.	Final Regist.
140_1	13:16	13:31	13:41	13:47	14:02	14:12
100_1	13:15	13:30	13:40	13:45	14:00	14:13
80_1	13:06	13:21	13:31	13:35	13:50	14:00
60_1	13:00	13:15	13:25	13:30	13:45	13:55
160_1	13:00	13:15	13:25	13:31	13:46	13:56
80_2	13:15	13:30	13:40	13:45	14:00	14:10
100_2	13:08	13:23	13:33	13:40	13:55	14:05
120_1	12:57	12:12	13:22	13:29	13:44	13:54
40_1	13:03	13:18	13:28	13:40	13:55	14:05
40_2	13:00	13:15	13:25	13:35	13:50	14:00
60_2	13:00	13:15	13:25	13:35	13:50	14:00
120_2	12:57	13:12	13:22	13:27	13:42	13:52
140_2	12:59	13:14	13:24	13:33	13:48	13:58
160_2	13:00	13:15	13:25	13:32	13:47	13:57

Ensayo	Etapa 3			Etapa 4		
	Inicio Preac.	Inicio Regist.	Final Regist.	Inicio Preac.	Inicio Regist.	Final Regist.
140_1	14:20	14:35	14:50	15:00	15:15	15:25
100_1	14:20	14:40	14:50	15:00	15:15	15:28
80_1	14:05	14:32	14:42	14:50	15:05	15:16
60_1	14:00	14:15	14:24	14:45	15:00	15:10
160_1	14:03	14:18	14:28	14:35	14:50	15:00
80_2	14:15	14:30	14:40	14:46	15:01	15:11
100_2	14:12	14:27	14:37	14:50	15:05	15:15
120_1	14:00	14:15	14:25	14:36	14:51	15:01
40_1	14:15	14:30	14:40	14:49	15:04	15:14
40_2	14:10	14:25	14:35	14:48	15:03	15:13
60_2	14:08	14:23	14:33	14:45	15:00	15:10
120_2	14:00	14:15	14:25	14:35	14:50	15:00
140_2	14:07	14:22	14:32	14:43	14:58	15:10
160_2	14:09	14:24	14:34	14:45	15:00	15:05

Tabla 3.7. Variación del ángulo de incidencia inicial, $\Delta\theta_{\text{INIC}}$, y final, $\Delta\theta_{\text{FINAL}}$, velocidad media del aire, V_{aire} y porcentaje de radiación difusa, G_d/G_T , para cada etapa de ensayo

Ensayo	Etapa 1				Etapa 2			
	$\Delta\theta_{\text{INIC}}$	$\Delta\theta_{\text{FINAL}}$	V_{aire} (m/s)	G_d/G_T	$\Delta\theta_{\text{INIC}}$	$\Delta\theta_{\text{FINAL}}$	V_{aire} (m/s)	G_d/G_T
140_1	$<-15^\circ$	$<-10^\circ$	2,15	8,34 %	$<-10^\circ$	0°	2,78	8,26 %
100_1	$<-15^\circ$	$<-10^\circ$	1,86	9,39 %	$<-10^\circ$	0°	1,54	9,48 %
80_1	$<-20^\circ$	$<-10^\circ$	3,84	9,93 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	2,11	10,62 %
60_1	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	1,53	7,37 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	1,61	7,66 %
160_1	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	1,48	8,11 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	2,13	7,90 %
80_2	$<-15^\circ$	$<-10^\circ$	-	8,75 %	$<-10^\circ$	0°	-	8,77 %
100_2	$<-15^\circ$	$<-10^\circ$	2,63	11,14 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	3,08	11,36 %
120_1	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	1,66	16,11 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	2,10	15,91 %
40_1	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	2,34	12,38 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	1,75	12,07 %
40_2	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	1,69	9,25 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	2,07	20,73 %
60_2	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	1,98	9,84 %	$<-10^\circ$	$<-5^\circ$	2,15	10,26 %
120_2	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	1,05	10,89 %	$<-15^\circ$	$<-10^\circ$	1,45	11,16 %
140_2	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	2,20	8,63 %	$<-15^\circ$	$<-5^\circ$	2,04	8,24 %
160_2	$<-20^\circ$	$<-15^\circ$	2,70	11,82 %	$<-15^\circ$	$<-5^\circ$	2,01	11,94 %

Ensayo	Etapa 3				Etapa 4			
	$\Delta\theta_{\text{INIC}}$	$\Delta\theta_{\text{FINAL}}$	V_{aire} (m/s)	G_d/G_T	$\Delta\theta_{\text{INIC}}$	$\Delta\theta_{\text{FINAL}}$	V_{aire} (m/s)	G_d/G_T
140_1	<5°	<10°	2,86	8,21 %	<15°	<20°	3,95	9,61 %
100_1	<5°	<10°	2,18	8,90 %	<15°	<20°	2,03	13,72 %
80_1	<5°	<10°	2,27	11,90 %	<10°	<15°	3,24	13,47 %
60_1	<-5°	<5°	1,13	7,38 %	<5°	<15°	1,44	12,82 %
160_1	<-5°	<5°	2,36	8,18 %	<5°	<15°	2,54	7,92 %
80_2	0°	<10°	-	9,34 %	<10°	<15°	-	8,90 %
100_2	0°	<10°	2,46	12,11 %	<10°	<15°	3,38	11,86 %
120_1	<-5°	<5°	2,45	16,14 %	<10°	<15°	2,16	16,20 %
40_1	0°	<10°	2,06	12,34 %	<10°	<15°	3,97	12,81 %
40_2	0°	<5°	2,29	9,06 %	<10°	<15°	2,80	9,31 %
60_2	<-5°	<5°	2,41	10,49 %	<10°	<15°	2,70	11,15 %
120_2	<-5°	<5°	3,57	12,07 %	<5°	<10°	3,95	11,62 %
140_2	<-5°	<5°	1,92	7,94 %	<10°	<15°	2,48	8,44 %
160_2	<-5°	<5°	2,37	12,18 %	<10°	<15°	2,78	12,88 %

Para el flujo másico, hay que indicar que la norma establece un valor específico de 0,02 kg/(sm²), referido al área de apertura del captador, salvo que el fabricante proponga otro valor. En nuestro caso, precisamente se buscó ensayar caudales distintos en cada ocasión, pero se tuvo en cuenta la máxima variación que permite la norma, la cual es del 1% del valor ajustado en cada periodo de ensayo, no debiendo variar más del 10% entre periodos de ensayo.

Para la temperatura hay que tener en cuenta que la norma propone no incluir aquellos registros de datos para los que el salto térmico ΔT sea inferior a 1 K, ya que estos quedarían afectados por el propio error del instrumento. Para la consulta de todos los registros existentes se puede comprobar el Anexo V, donde, a modo de ejemplo, se incluyen las hojas Excel con los valores registrados en cada canal del datalogger durante un ensayo determinado.

3.5.2. Procedimiento de ensayo

Un ensayo completo de un captador requiere que éste se ensaye sobre su rango de temperatura de operación y bajo condiciones de cielo claro. Esto debe realizarse al menos para 4 temperaturas distintas de entrada del fluido, espaciadas temporalmente de forma uniforme, sobre el rango de temperaturas en las que el captador es capaz de operar. Estas 4 temperaturas se conocen como etapas de ensayo, y deben ser seleccionadas de una forma determinada.

En primer lugar, la temperatura más baja a ensayar debe hacer que el valor de T^* sea ≤ 0 , lo que se consigue con temperaturas de entrada algo menores a la temperatura ambiente, como ya se ha visto antes en la Ec.3.3 y Ec.3.4. Esto puede comprobarse en la Fig.3.16 donde se representan las temperaturas medias reducidas y los valores de rendimiento obtenidos para todas las primeras etapas de ensayo realizadas, de forma que se tienen valores muy cercanos a $T^*=0$, que permiten calcular con gran exactitud el valor de η_0 .

En cuanto al límite superior de temperatura, que definirá la última etapa de ensayo, la norma recomienda que se alcancen los 80°C a la entrada del captador mientras las condiciones del ensayo lo permitan, de forma que $T^*=0,09$.

Durante los ensayos, tanto la temperatura de entrada al captador como el caudal estuvieron limitados para conseguir dos objetivos: cubrir el rango de T^* indicado en la norma y evitar condiciones de sobrecalentamiento a la salida de los captadores, que

generarían burbujas de vapor. Por este motivo, no se ensayaron los captadores con caudales inferiores a 40 l/h.

Con la primera y la última etapa definidas, las 2 etapas intermedias se seleccionaron de forma que quedaran equidistantes entre las 2 etapas límite. La Tabla 3.8 resume las temperaturas de entrada medias para los 2 captadores y cada etapa de ensayo.

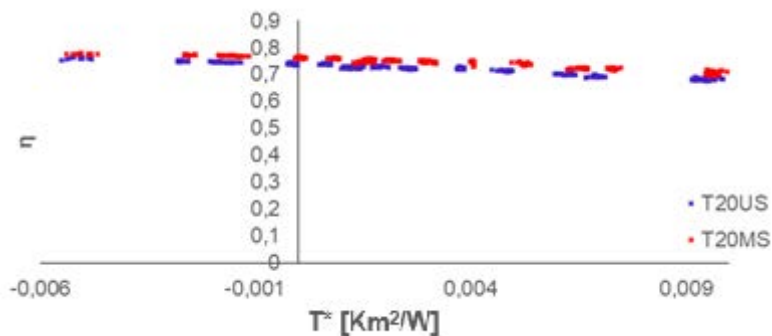


Figura 3.16. Valores registrados rendimiento térmico para las temperaturas medias reducidas de todos los ensayos, obtenidos durante la etapa de menor temperatura. (T20US parrilla y T20MS serpentín)

Tabla 3.8. Resumen de temperaturas de entrada medias por etapa y ensayo

Caudal-Ensayo	Etapas	t_{in}
40 l/h 1	1	27,8
	2	44,5
	3	57,7
	4	71,7
40 l/h 2	1	18,3
	2	34,9
	3	52,8
	4	71,9
60 l/h 1	1	30,5
	2	49,2
	3	68,0
	4	83,9
60 l/h 2	1	23,8
	2	44,4
	3	58,3
	4	76,7
80 l/h 1	1	25,2
	2	49,0
	3	67,9
	4	85,8
80 l/h 2	1	26,3
	2	49,0
	3	67,6
	4	83,7
100 l/h 1	1	25,3
	2	49,3
	3	68,5
	4	87,2
100 l/h 2	1	26,8
	2	49,1
	3	68,0
	4	87,7
120 l/h 1	1	26,8
	2	49,4
	3	68,6
	4	88,8
120 l/h 2	1	30,1

	2	45,0
	3	68,7
	4	90,0
140 l/h 1	1	25,8
	2	47,1
	3	68,8
	4	89,3
140 l/h 2	1	25,8
	2	47,1
	3	68,8
	4	89,5
160 l/h 1	1	25,2
	2	49,6
	3	69,0
	4	88,3
160 l/h 2	1	22,4
	2	44,7
	3	68,8
	4	88,1

Una vez se han definido las 4 temperaturas de entrada con las que se van a ensayar los captadores, se deben registrar al menos 4 puntos válidos e independientes por cada una de ellas a lo largo del tiempo, de forma que se garanticen las condiciones que la norma establece para el estado estacionario: 16 puntos por cada ensayo, 8 antes del mediodía solar y 8 después. Estas condiciones para estado estacionario son las que se reflejan en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Máximas desviaciones permitidas por EN12975-2:2006 para condiciones de estado estacionario

Variable de medida	Desviación máxima permitida SST EN12975-2:2006
Temperatura del fluido de entrada	$\pm 0,1$ K
Irradiación	± 50 W/m ²
Caudal másico	$\pm 1\%$ del valor medido
Temperatura ambiente	$\pm 1,5$ K

Cada captador y caudal seleccionado contó con al menos 2 ensayos válidos, realizados en días distintos, y cuyos datos se combinaron en un solo archivo de registro de datos, antes de proceder con el tratamiento estadístico. En todos los casos, el caudal se mantuvo dentro de un umbral de variación menor al 1%.

Antes de cada una de las 4 etapas de ensayo, y de cara a propiciar unas condiciones de estado estacionario en el fluido, la norma propone realizar un periodo de preacondicionamiento, con una duración de al menos 4 veces la constante de tiempo del captador, si es que ésta se conoce, o en todo caso, no menor a 15 minutos. En este periodo de preacondicionamiento deben mantenerse fijos tanto el caudal como la temperatura de entrada al captador. Una vez que transcurran los 15 minutos, comenzaría el periodo de registro en sí.

El periodo de registro también requiere de una duración mínima según la norma, que debe ser de 4 veces la constante de tiempo del captador, o al menos, de 10 minutos. Es en este periodo en el que se deben comprobar que se cumplen las condiciones de la Tabla 3.9, lo cual se hace analizando que los valores de cada variable, para cada paso de tiempo de registro, no se desvían sobre el valor medio de dicha variable durante todo el periodo de ensayo analizado. Estas fases de preacondicionamiento y de registro pueden comprobarse en la Fig. 3.17, para un caudal de ensayo de 120 l/h en el captador tipo serpentín. Como se observa en la señal del caudalímetro, en cada cambio de etapa

las condiciones del flujo cambian, debiendo existir el periodo previo al registro para que las condiciones vuelvan a ser las de estado estacionario.

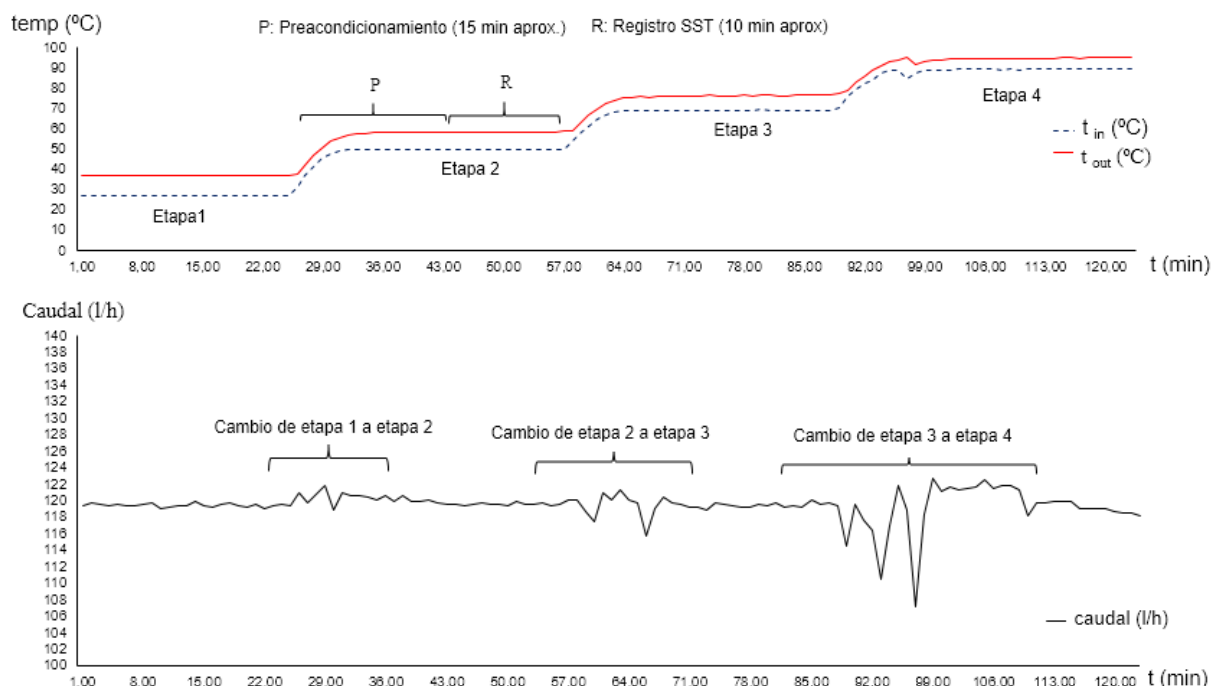


Figura 3.17. Valores registrados para un ensayo de 120 l/h en captador tipo serpentín

Las desviaciones indicadas en la Tabla 3.9 no se comprobaron directamente para cada valor registrado por el datalogger, dado que como ya se ha indicado su frecuencia de registro fue de 5 s. En su lugar, se realizó una media aritmética de cada 6 valores consecutivos, lo que significa disponer de valores de registro identificativos de cada 30 s, que sí se compararon frente a la media de todos los demás valores, durante los aproximadamente 10 minutos que dura el periodo de registro. Todo ello para cada una de las 10 variables de medida mostradas en la Tabla 3.3.

Con esta forma de proceder, en cualquiera de los ensayos efectuados se obtuvieron muchos más valores válidos que los 16 valores mínimos que establece la norma. De hecho, los resultados del estudio estadístico posterior dependen en gran medida de la selección de datos que se proponga efectuar: podrían seleccionarse los 16 puntos que mejor ajuste tengan entre sí para maximizar el R^2 del ajuste, o podrían seleccionarse 16 puntos que hagan que la curva resultante tenga el mayor rendimiento y menores pérdidas para cada T^* , etc. Es decir, existe una importante influencia entre el ajuste de la curva de rendimiento final y la selección de los datos de ensayo que se realice.

En nuestro caso, se propuso claramente un objetivo claro: que el análisis estadístico se efectuara con el mayor número de puntos válidos posible. El objetivo para seleccionar los datos fue, precisamente, el de eliminar solo aquellas zonas que no cumplieran condiciones de estado estacionario. Con este criterio se decidió eliminar periodos de datos completos, no sólo valores puntuales dentro del registro. Esto trae consigo que, una vez que las condiciones registradas revelen que el estado estacionario ha dejado de existir, deba seleccionarse o bien el periodo anterior o bien el periodo posterior, dependiendo de cuál de ellos tenga mayor número de valores registrados. Esta forma de trabajar se muestra en el diagrama de flujo de la Fig. 3.18, aplicando una serie de bucles condicionales anidados, los cuales se aplican a cada una de las 4 etapas de cada ensayo por separado.

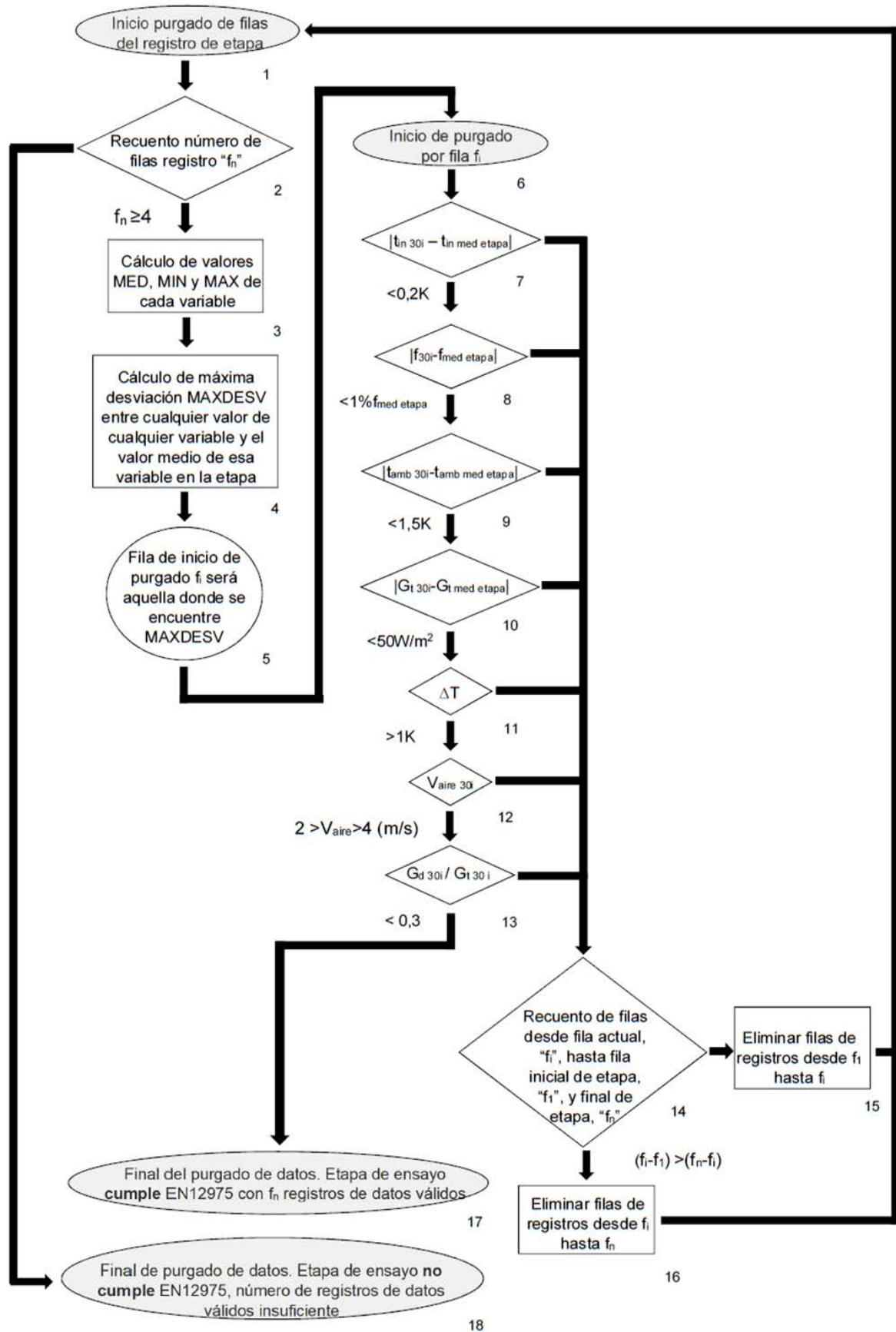


Figura 3.18. Diagrama de flujo para algoritmo de búsqueda y comprobación de estados estacionarios de etapas de registro

La ejecución del programa tiene dos finales posibles: o bien nos devuelve todas las filas de datos válidas, así como su recuento, es decir, la duración del periodo más largo de estado estacionario que se haya encontrado, o bien nos informa de que la etapa de ensayo no cumple con la norma, ya que no se alcanza el número mínimo de puntos de registro válidos, que son 4.

La rutina del programa de purgado comienza con un recuento de todas las filas que componen la muestra de datos de la etapa analizada. Cada columna de cada fila contiene el valor de cada variable de ensayo, promediado para 30 segundos a partir de 6 registros, (tomados con una frecuencia de muestreo de 5 segundos). El valor entero que designa el recuento de filas de etapa se conoce como f_n .

En el primer cuadro de selección, se comprueba el valor de f_n , y si este es menor a 4, directamente se tiene la salida de programa 18, informando de que no hay datos suficientes y de que, por tanto, la etapa de ensayo no es válida. En caso de que el valor de f_n indique que sí hay suficientes filas para continuar el purgado, se procede a calcular los valores medios, máximo y mínimo de cada variable.

Con los valores medios de etapa de las variables temperatura de entrada, caudal volumétrico, temperatura ambiente y radiación solar global se realiza una búsqueda en todas las columnas, buscando dónde se encuentra la máxima desviación de cualquier registro frente al valor medio de esa variable en toda la etapa, a la que llamaremos MAXDESV. Esta máxima desviación tiene que encontrarse forzosamente en 8 posiciones posibles, correspondientes a las 4 columnas de las variables estudiadas y a sus 2 valores límites calculados para toda la etapa, (MIN y MAX).

Una vez se identifica donde se encuentra MAXDESV, se nombra a la fila que lo contiene como f_i , siendo esta fila por la que comenzará el proceso de comprobación de condiciones de estado estacionario según la norma, aplicando las desviaciones límite de la Tabla 3.9. Este proceso comenzaría en el cuadro de control condicional número 7 del diagrama de flujo de la Fig. 3.18.

Para optimizar el algoritmo de comprobaciones, el primer bucle condicional para la comprobación de estado estacionario se realizó para la temperatura de entrada de fluido t_{in} , ya que esta variable se mostró como la que más veces incumplía las condiciones de estado estacionario durante los primeros ensayos de prueba y regulación del banco. Si en la fila f_i el valor registrado $t_{in\ 30i}$ no se desvía de su valor medio $t_{in\ med\ etapa}$ en más de 0,2 K, entonces se pasa al siguiente cuadro condicional, que realiza el mismo proceso pero para el valor de caudal f_{30i} . Le seguirían las comprobaciones para la temperatura ambiente $t_{amb\ 30i}$ y para la radiación global incidente $G_{t\ 30i}$.

Una vez se comprueba que se cumplen las condiciones de estado estacionario en la fila con mayor desviación de cualquier variable medida frente a su valor medio, se deben comprobar una serie de condiciones adicionales para validar el ensayo: que el salto térmico en captador sea superior a 1 K, (cuadro de control nº 11), que la velocidad del aire esté comprendida entre 1 y 4 m/s, (cuadro de control nº 12), y que el porcentaje de radiación solar difusa frente a la radiación global incidente no sea superior al 30%, (cuadro de control nº 13).

Tras realizar las 7 comprobaciones enseriadas, y obtener un resultado satisfactorio, la salida del programa pondría fin al purgado, ya que se estarían cumpliendo las condiciones que obliga la norma en la fila con “peores” registros, y por lo tanto, si esa fila cumple, las demás filas, que tienen menos desviación de sus valores, también lo harán. El resultado es un número de filas f_n en las que se cumplen las condiciones de la norma, y en las que no ha sido preciso eliminar ninguna fila de registro intermedia.

En los casos en los que se incumplen las condiciones fijadas como límites por la norma, la rutina programada haría que la salida de cualquiera de los cuadros condicionales

numerados del 7 al 13 iniciara el proceso de eliminación de filas, mostrado en el cuadro 14. En este punto se tienen 2 alternativas para efectuar el purgado de datos: o eliminar solo la fila que incumple alguna de las condiciones, o eliminar esa fila junto con las filas que le preceden o que le siguen. La diferencia está en cómo se interprete lo que significa realmente una muestra de datos físicos correspondientes a estado estacionario, ya que la norma no indica nada al respecto.

La alternativa más fácil de acometer y que haría que la muestra de datos conseguida fuera mayor, pasa por eliminar únicamente la fila que incumple las condiciones de la norma. A continuación, como se reduciría el número de filas de la etapa, habría que refrescar los valores medios, mínimo y máximo de cada variable, además de volver a buscar la máxima desviación MAXDESV para comenzar una nueva rutina del programa. Esta elección adopta la hipótesis de que un periodo de registro que cumpla estado estacionario pueda establecerse en base a registros puntuales que no guarden entre sí una continuidad temporal. Es decir, existirían filas que no se registraron a continuación de la anterior, ya que durante el purgado se han eliminado los valores de registros intermedios que las separaban.

Por otra parte, se podría establecer como premisa que los valores finales válidos si deban tener continuidad temporal en sus registros, por lo que no estaría permitido eliminar únicamente las filas que no cumplan las condiciones de los cuadros numerados desde el 7 al 13. Habría que conseguir maximizar una ventana de tiempo móvil, de forma que el resultado final obtenido fuera el periodo de registro con estado estacionario y valores consecutivos más largo dentro de cada etapa. Esta hipótesis fue la elegida, ya que se apoya en el hecho de que los valores que incumplen estado estacionario en una etapa tienen muy poca probabilidad de ser ruidos de señal, debido a que su propio valor es el promedio de 6 valores registrados cada 5 segundos. Por lo tanto, si un valor que ya ha sido suavizado muestra condiciones transitorias, este habrá sido afectado por los valores anteriores, y además, afectará a los valores siguientes, por lo que se debería eliminar o bien el periodo anterior, o bien el periodo posterior.

Esta forma propuesta de comprobación y purgado de datos elimina más cantidad de datos cuando el instante que no cumple con estado estacionario se encuentra a la mitad de la etapa de ensayo, lo cual no suele suceder salvo cuando se producen vaporizaciones de fluido. Esto surge en las últimas etapas y con caudales bajos, sobre todo en el captador tipo parrilla, lo que explica que en esas condiciones se encuentren los ensayos con menor número de muestras, reflejando que es más difícil mantener condiciones estacionarias por un tiempo determinado. En otras ocasiones, las filas a eliminar se encuentran en los instantes iniciales, lo que indica que el periodo de preacondicionamiento previo no duró lo suficiente o que existieron problemas en el ensayo.

Independientemente de estas connotaciones, hay que recalcar que el proceso de purgado realizado se aplicó sistemáticamente a todos los ensayos por igual, por lo que no existieron diferentes criterios de selección, y los datos seleccionados son el reflejo de las condiciones experimentales existentes en los ensayos. Dado que estas condiciones están estandarizadas por la norma, se garantizó que los resultados de ensayo son totalmente comparables entre sí.

No tenemos evidencias de que esta forma de tratar los datos sea la misma que realizan en los laboratorios de ensayo oficiales, ya que la norma no especifica nada sobre qué criterio debe seguirse al seleccionar los puntos con los que realizar el ajuste MLR. Por una parte, la norma solo informa de qué condiciones deben cumplir los puntos para garantizar que pertenecen a condiciones de estado estacionario, y por otra, nos indica que, al menos, deben seleccionarse 4 puntos por cada una de las 4 etapas de cada ensayo.

3.6. Cálculo del rendimiento del captador

Una vez se disponen de los valores definitivos para cada variable de ensayo, y habiendo comprobado que pertenecen a condiciones de estado estacionario, se calculan las propiedades del fluido con la Ec. 3.1 y Ec. 3.2. Tras este paso, ya es posible calcular los distintos resultados de ensayo, encaminados a obtener el rendimiento térmico del captador en cada instante, para una temperatura media reducida determinada.

El primer valor a obtener es la potencia útil que es producida por el captador en cada instante, \dot{Q}_{prod} , lo cual se realiza aplicando la Ec.3.5:

$$\dot{Q}_{prod} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (3.5)$$

Como ya se mencionó, en la expresión anterior, C_p se evalúa para una temperatura de referencia igual a la temperatura media de masa del fluido en el captador, t_m . El flujo másico \dot{m} se obtiene como producto de la densidad del fluido ρ , evaluada para una temperatura de referencia igual a la temperatura de entrada del fluido al captador, t_{in} , por el caudal volumétrico, medido directamente por caudalímetros. El salto térmico se obtiene con la Ec. 3.6, descartando aquellos registros cuyo valor sea menor a 1 K.

$$\Delta T = t_{out} - t_{in} \quad (3.6)$$

La energía solar que incide en el captador por cada unidad de tiempo, \dot{Q}_{sol} , se puede calcular aplicando la Ec.3.7, siempre y cuando se cumpla la condición de que la desviación del ángulo de incidencia respecto de incidencia normal no supere $\pm 20^\circ$. En caso contrario, sería necesario calcular el modificador del ángulo de incidencia, MAI.

$$\dot{Q}_{sol} = A_u G_T \quad (3.7)$$

Una vez se tienen los valores de \dot{Q}_{prod} y \dot{Q}_{sol} se puede calcular el rendimiento térmico del captador en cada instante, η , aplicando la Ec. 3.8, y siendo este resultado el valor medio de rendimiento para cada 30 segundos de registro:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{prod}}{\dot{Q}_{sol}} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{A_u G_T} \quad (3.8)$$

Finalmente, la norma establece que el modelado de la eficiencia instantánea del captador deberá establecerse como una curva cuadrática con la forma de la Ec. 3.9:

$$\eta = \eta_0 - k_1 T^* - k_2 G_T T^{*2} \quad (3.9)$$

Dado que la temperatura media reducida T^* se calcula con la Ec.3.3, podemos modificar la ecuación de la curva de eficiencia del modo que marca la Ec. 3.10. Así, si se fija una radiación solar, normalmente de 1.000 W/m^2 , se podría representar la curva de η frente a T^* , siendo esta curva la que suele aparecer publicada en las especificaciones técnicas de los fabricantes de captadores solares.

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{t_m - t_a}{G_T} - k_2 G_T \left(\frac{t_m - t_a}{G_T} \right)^2 \quad (3.10)$$

La curva de rendimiento tiene tres coeficientes característicos, η_0 , k_1 y k_2 , que deben ser obtenidos mediante un ajuste de mínimos cuadrados, conocido como análisis de regresión múltiple MLR, aplicado a los datos registrados en cada ensayo.

Para obtener la producción energética del captador, \dot{Q}_{prod} , se aplica la Ec. 3.11. En caso de representarse gráficamente, se fija un valor de 1.000 W/m^2 para la irradiancia, dibujándose la curva de η frente a $(t_m - t_a)$, como se observa en la Fig. 3.19, para un ensayo a 140 l/h en los dos captadores ensayados. El producto $A_u G_T \eta_0$ se conoce como potencia pico del captador, \dot{W}_{pico} .

$$\dot{Q}_{prod} = A_u G_T \left(\eta_0 - k_1 \frac{t_m - t_a}{G_T} - k_2 \frac{t_m - t_a}{G_T} \right) \quad (3.11)$$

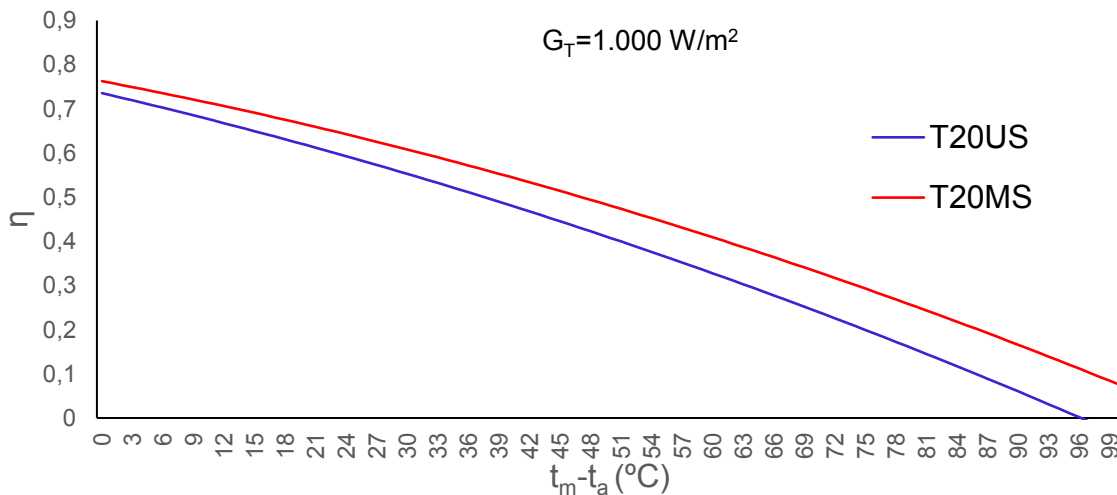


Figura 3.19. Producción energética de cada captador ensayado para un caudal de 140 l/h y una radiación solar global de 1.000 W/m^2

3.7. Ajuste MLR. Obtención de los valores de la curva característica de ensayo

Una vez se obtienen los valores de rendimiento térmico para las condiciones registradas en cada ensayo según la Ec. 3.10, se procede a crear 3 columnas de datos que servirán para el posterior ajuste estadístico de regresión lineal múltiple, MLR. Este conjunto de datos conforma una matriz de dimensiones $n \times 3$ por cada ensayo, siendo n el valor de

los registros válidos para las 4 etapas de ensayo, obtenidos tras aplicar el procedimiento de purgado mostrado en la Fig. 3.18. Las columnas de datos requeridos para el ajuste MLR son: rendimiento térmico, η , temperatura media reducida, T^* y el valor $\frac{(T_m - T_a)^2}{G_T}$.

El ajuste MLR devolverá la ecuación de la curva que presente la menor distancia hasta cualquier valor de rendimiento registrado durante los ensayos, representada en el espacio tridimensional por 3 ejes, correspondientes a los valores de cada una de las 3 columnas definidas anteriormente. Dado que este proceso de ajuste estadístico requiere de una cierta potencia de cálculo, y debido al gran número de valores de ensayo, se utilizó la aplicación *cftool* del entorno *Curve fitting tools* de Matlab. Esta aplicación lee la matriz de datos de cada ensayo y crea un vector con n componentes por cada una de las 3 columnas de la matriz. A continuación, se asigna cada vector a un eje espacial; eje X para el vector de la columna correspondiente a T^* , eje Y para el vector asociado a $\frac{(T_m - T_a)^2}{G_T}$, y eje Z para el vector asociado a los valores de rendimiento térmico η .

El programa también permite asociar un vector cuyos componentes sean los pesos necesarios, en caso de realizar un ajuste ponderado, lo cual sería interesante en caso de utilizar un algoritmo ajuste por mínimos cuadrados de tipo regular. En este caso, se dejó sin asignar esta opción.

Para finalizar el proceso de regresión, se selecciona el tipo de ajuste a realizar, en este caso, polinómico de grado 1 para los datos existentes en los ejes X e Y. Se permite al programa que autoajuste los valores, devolviéndonos los valores de los coeficientes a , b y c , que corresponden con los de una función espacial como la que representa la Ec. 3.12:

$$z = f(x, y) = a + bx + cy \quad (3.12)$$

Es decir, se representan los valores de rendimiento térmico en el eje Z como función de los valores de los ejes X, (T^*) e Y, $\left(\frac{(T_m - T_a)^2}{G_T}\right)$, como se puede observar en la Fig. 3.20.

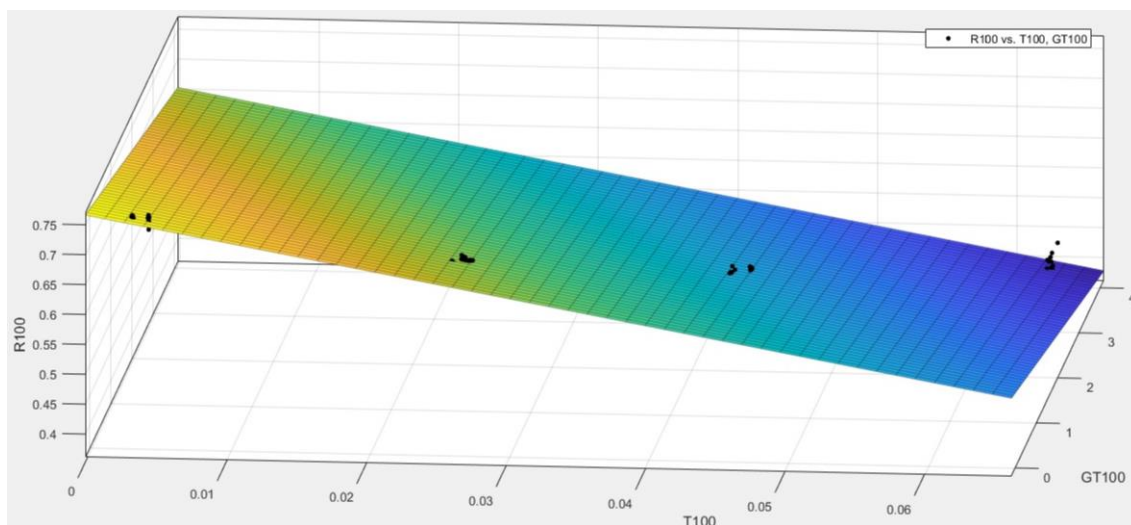


Figura 3.20. Espacio definido por las 3 columnas de la matriz de datos de ensayo, puntos de rendimiento registrados y plano de regresión lineal múltiple

Si asociamos los valores de la curva del ajuste obtenido según la Ec. 3.12 con los que se proponen en [EN12975, 2006], según la Ec. 3.11, podemos identificar que el término a se corresponde con el valor del rendimiento óptico η_0 , b lo hace con el coeficiente lineal de pérdidas térmicas k_1 y c con el coeficiente cuadrático de pérdidas térmicas, k_2 , también conocido como factor de pérdidas de segundo orden. Es importante destacar que η_0 es adimensional, ya que representa el punto de corte de la curva de rendimiento con el eje de ordenadas, es decir, es el máximo rendimiento térmico que se obtiene ensayando el captador, lo cual sucede para las condiciones que hacen $T^*=0$. Sin embargo, k_1 y k_2 sí tienen unidades, ya que son coeficientes de pérdidas térmicas de un proceso de transmisión de calor desde el captador hacia el ambiente, siendo las unidades de medida de k_1 $W/(m^2K)$ y las de k_2 $W/(m^2K^2)$.

La aplicación *cftool* también nos ofrece varios coeficientes que informan sobre la calidad del ajuste realizado, como son, entre otros, el error cuadrático medio, RMSE, y el coeficiente de determinación, R^2 .

El RMSE mide el valor del error que existe entre dos conjuntos de datos, en este caso, comparando el valor de rendimiento térmico predicho por la curva de ajuste obtenida frente al valor de rendimiento observado en los ensayos. También se conoce a este valor como raíz de la desviación cuadrática media, siendo deseable que su valor se acerque a 0. En cuanto al coeficiente de determinación R^2 , estima la bondad del ajuste de la curva de rendimiento obtenida frente a los valores de rendimiento registrados en los ensayos. Cuanto más se acerque a 1, mejor ajuste se habrá obtenido.

Si se representa gráficamente el rendimiento medido en los ensayos en el eje de abscisas, (para determinados valores de T^*), y en el eje de ordenadas se fija el valor de rendimiento predicho por la curva de ajuste MLR, para las mismas temperaturas medias reducidas, se obtiene un gráfico de dispersión en el que se puede dibujar una recta, la cual, en caso de que R^2 valiera 1, pasaría por todos los puntos existentes. En el caso de los ajustes realizados, los coeficientes de determinación han sido muy próximos a la unidad, como se muestra en la Fig. 3.21, donde se han dibujado todos los valores de rendimiento predichos por las curvas de todos los ensayos frente a todos los valores de rendimiento registrados, para cada captador. Los valores obtenidos de R^2 son 0,991 para el captador tipo parrilla y 0,995 para el captador tipo serpentín.

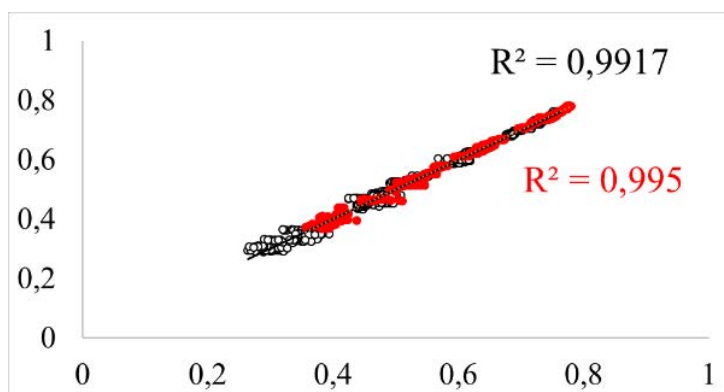


Figura 3.21. Coeficientes de determinación R^2 para todos los rendimientos térmicos registrados en todos los ensayos realizados, para cada tipo de captador, parrilla en color negro y serpentín en color rojo

En la Tabla 3.10 se enumeran los valores del coeficiente de determinación para cada ensayo combinado y cada tipo de captador, en función del número de valores de la muestra en cada etapa, n_{total} . Como se puede comprobar, la dependencia de R^2 no depende del número de valores totales válidos del ensayo, sino que queda afectado por cómo de bien se ajusten los valores de rendimiento predichos por la curva de ajuste a

los valores de rendimiento registrados durante el ensayo, lo que se consigue fácilmente para zonas de alto rendimiento, cercanas a η_0 . Esto significa que los ensayos con mayor número de puntos registrados para valores bajos de T^* suelen ofrecer mejores ajustes, aumentando el valor de R^2 .

Tabla 3.10. Valores de coeficiente de determinación R^2 , número de muestras totales, n_{total} , y coeficientes característicos de curva de rendimiento obtenidos para todos los ensayos

Captador tipo parrilla					
Caudal-Ensayo	R^2	n_{total}	η_0	k_1	k_2
40 l/h	0,9899	121	0,7375	6,0880	(-)-0,0002
60 l/h	0,9950	138	0,7398	6,3511	(-)-0,0130
80 l/h	0,9922	108	0,7229	3,2334	0,0594
100 l/h	0,9918	119	0,7409	5,3705	0,0110
120 l/h	0,9898	144	0,7358	5,0658	0,0312
140 l/h	0,9938	151	0,7355	5,3897	0,0235
160 l/h	0,9899	139	0,7371	5,4187	0,0174
Captador tipo serpentín					
Caudal-Ensayo	R^2	n_{total}	η_0	k_1	k_2
40 l/h	0,9904	144	0,7488	4,2018	0,0266
60 l/h	0,9958	118	0,7541	3,9353	0,0303
80 l/h	0,9923	110	0,7618	4,7397	0,0215
100 l/h	0,9960	117	0,7601	4,0712	0,0270
120 l/h	0,9923	132	0,7587	4,4765	0,0223
140 l/h	0,9976	152	0,7626	4,4190	0,0246
160 l/h	0,9973	139	0,7618	4,6263	0,0179

Esto tiene otra lectura, que nos dice que conforme T^* va creciendo, los valores de rendimiento predicho y registrado comienzan a diferenciarse, como se observa en la Fig. 3.22 para un ensayo a 100 l/h con captador tipo serpentín, evidenciando que para altas T^* el estado estacionario es más difícil de mantener durante un tiempo determinado. Esta particularidad es más acusada para dos casos concretos:

- los ensayos del captador tipo parrilla, ya que éste es más propenso, por diseño, a sufrir desequilibrios hidráulicos que creen puntos calientes, y por tanto, vaporizaciones de fluido, cambiando las propiedades físicas del fluido caloportador.
- los ensayos con caudales bajos, donde las últimas etapas de ensayo tienen saltos de temperatura muy elevados, llegando a producirse cambios de fase en el fluido caloportador, con el mismo resultado que en el punto anterior.

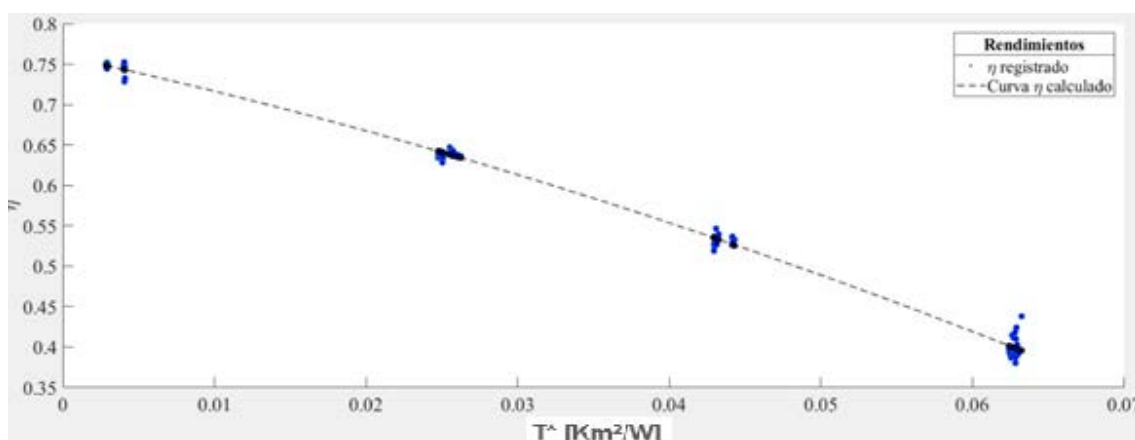


Figura 3.22. Curva de rendimiento obtenida en ajuste MLR frente a puntos de rendimiento registrados para ensayo a 100 l/h en captador tipo serpentín

Estas condiciones tienen su punto de partida en el número de Reynolds existente en el flujo interno del absorbedor durante cada instante del ensayo, dependiente de la configuración hidráulica de cada captador. Para calcular el número de Reynolds, se aplica la Ec. 3.13:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu} \quad (3.13)$$

En esta ecuación, v es el valor de la velocidad del fluido, D es el diámetro de la conducción y μ es el valor de la viscosidad dinámica o absoluta del fluido. Por tanto, el régimen de flujo interno quedará controlado tanto por las condiciones del ensayo, (temperatura a la que se calcula la viscosidad del fluido y caudal con el que se calcula la velocidad), como por la configuración hidráulica del absorbedor, (diámetro del tubo del absorbedor).

En la Fig. 3.23 y en la Fig. 3.24 se muestran los distintos regímenes de flujo interno que existieron en cada etapa de ensayo y para cada captador, tomando los valores teóricos para cambios de régimen siguientes:

- $Re < 2.300$ Régimen laminar
- $2.300 \leq Re \leq 10.000$ Régimen de transición
- $Re > 10.000$ Régimen turbulento

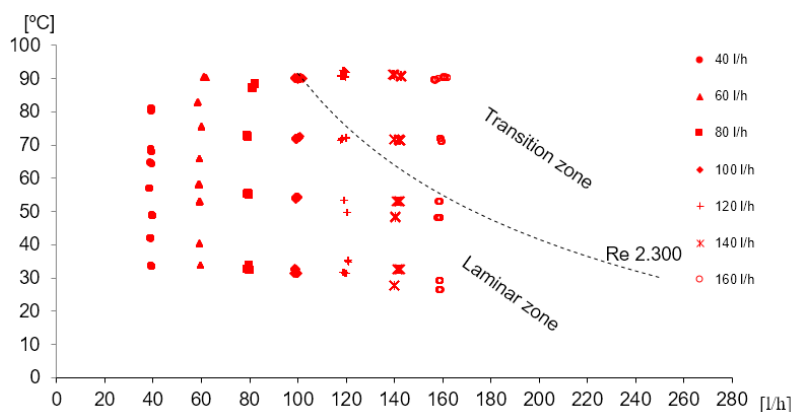


Figura 3.23. Regiones según régimen de flujo interno en tubos verticales del absorbedor tipo parrilla para las condiciones existentes durante todos los ensayos

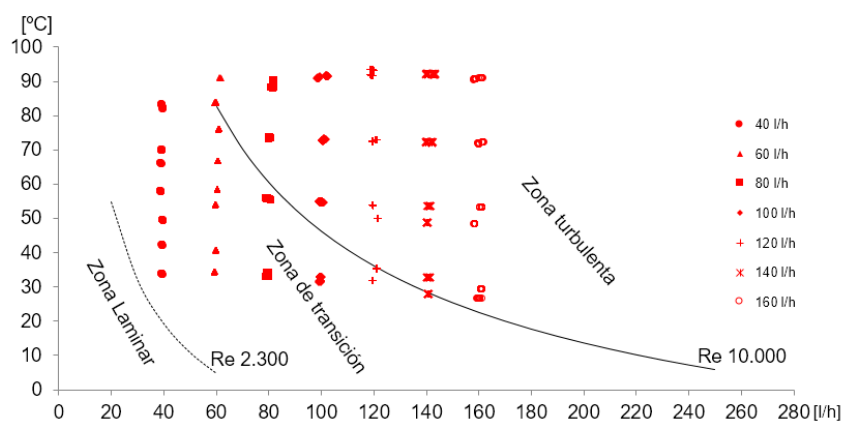


Figura 3.24. Regiones según régimen de flujo interno en el único tubo del absorbedor tipo serpentín para las condiciones existentes durante todos los ensayos

Como se observa en estas figuras el tipo de régimen interno es distinto en cada captador, ya que por cada uno de los 8 montantes del captador tipo parrilla siempre circulará menos caudal que por el único montante del captador tipo serpentín, para cualquiera de los 7 caudales ensayados.

En las instalaciones solares térmicas para calentamiento de agua caliente sanitaria típicas, los caudales existentes en el captador tipo parrilla quedan dentro del rango de caudales ensayados, y harían que el régimen de flujo interno teórico quedara siempre en zona laminar, empezando a ser régimen de transición con 120 l/h y 65 °C de temperatura media del fluido. En el caso del captador serpentín habría condiciones teóricas de régimen de transición desde los 40 l/h, y a partir de 80 l/h ya es posible que se comience a entrar en régimen turbulento, si la temperatura media del fluido supera los 60 °C.

Dado que estas condiciones teóricas para cambios de régimen son ideales, se debe incluir que los accidentes hidráulicos del captador tipo parrilla modificarían el tipo de régimen interno de una forma más acusada que en el captador tipo serpentín, sobre todo la terminación de las tés de unión entre montantes y tubos distribuidores, [Bava, 2016], siendo factores controlantes el ratio entre diámetros de montantes y distribuidores, longitud y número de montantes, [Jones, 1994] así como la sobremedida con la que se inserten los montantes en el tubo distribuidor para el proceso de soldadura.

Por tanto, se comprueba lo indicado en [Domínguez, 2011], ya que las curvas de ensayo obtenidas tienen curvaturas que dependen fuertemente de la posición del último grupo de medidas tomadas durante cada ensayo. Estos puntos pueden ser consecuencia de factores no incluidos en el modelo HWB: régimen de flujo y distribución del fluido entre los tubos.

3.8. Propagación de incertidumbre

Los datos registrados tras cada ensayo se analizaron con el objetivo de propagar la incertidumbre asociada a sus errores de medida, introducida por cada sensor al medir las distintas variables de ensayo. Cuantas más fuentes de incertidumbre se consideren, mayor incertidumbre final se tendrá para cada uno de los tres coeficientes característicos de la curva de eficiencia obtenida: η_0 , k_1 y k_2 . Es decir, esforzarse en considerar todas las fuentes de incertidumbre y realizar su propagación produce lo que a priori podría parecer un ensayo menos preciso, aumentando la incertidumbre calculada de los coeficientes de la curva de eficiencia, en lugar de disminuirla.

3.8.1. Tipos de incertidumbre

La incertidumbre que ofrecen los laboratorios de ensayo homologados suele ser únicamente la asociada a la desviación típica de los valores medidos, a la cual se le suele llamar como incertidumbre *tipo A*. Esta sólo evalúa cómo se han distribuido los valores de medida debido a la acción del azar. Para reducir este tipo de incertidumbre basta con aumentar el número de medidas aumentando el tamaño de la muestra estadística.

En este trabajo, se siguieron los procedimientos publicados en [Domínguez, 2008], [Sabatelli, 2002] y [Budig, 2009], apoyados en la Guía ISO GUM. Además de la incertidumbre *tipo A*, existe una incertidumbre *tipo B*, formada por los errores

sistemáticos asociados al error de medida, y que solo se pueden reducir aumentando la precisión del instrumento de medida.

3.8.2. Estimación de las fuentes de incertidumbre existentes

Ambas incertidumbres se combinaron, obteniendo un resultado de incertidumbre combinada, u , para cada uno de los tres coeficientes de la curva de eficiencia y por cada caudal de ensayo.

Como ya se indicó, la precisión de los sensores utilizados en los ensayos no es la misma que la exigida por la norma. Tras efectuar un análisis de sensibilidad, la variable que más incertidumbre crea en los resultados finales es la radiación solar, G_T , que depende de la clase del piranómetro, en concordancia con las conclusiones de [Sabatelli, 2002]. Para la evaluación de las incertidumbres tipo B de una forma más exhaustiva se utilizó una distribución de probabilidad cuadrada con un factor de cobertura $k = 2$, en vez de la tradicional distribución normal. Cualquier valor comprendido en el intervalo $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ tendría la misma probabilidad de ser el valor verdadero de la medición. En este intervalo, μ es el valor medio de cada variable de ensayo medido en las n mediciones, σ es la desviación típica calculada según la Ec. 3.14, donde a es la precisión de cada instrumento de medida.

$$\sigma = \sqrt{\frac{a^2}{3}} \quad (3.14)$$

Para propagar la incertidumbre asociada a cada sensor de medida u , se creó una hoja de cálculo en Excel basada en el procedimiento de [GUM, 1995], mostrada en el Anexo V, con la que se trabajó para cada ensayo realizado. Esta forma de proceder es similar a la que se incluye en el Anexo K de [EN12975, 2006], *Líneas directrices generales para la evaluación de la incertidumbre del ensayo de eficiencia en captadores solares*. Este proceso siguió el esquema mostrado en la Fig. 3.25.

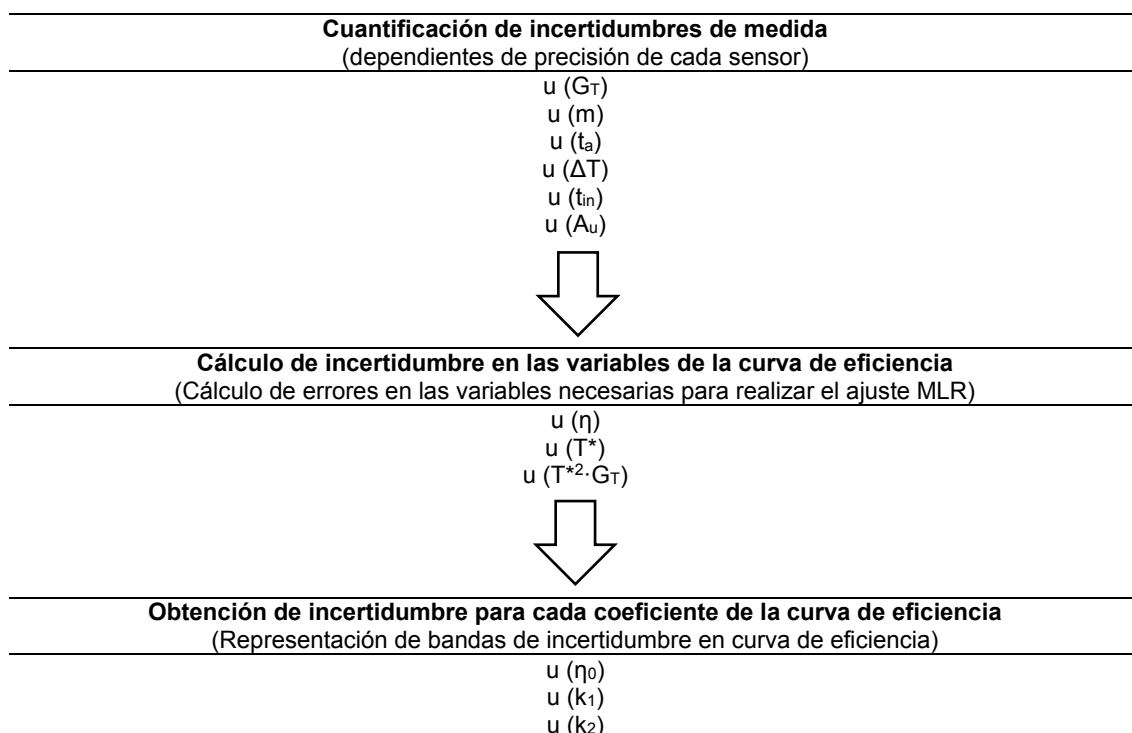


Figura 3.25. Secuencia de propagación de incertidumbres de medida hacia coeficientes de curva de eficiencia obtenida en ensayo

3.8.3. Cálculo y propagación de incertidumbres

El procedimiento seguido para cuantificar las incertidumbres de medida de cada sensor comenzó por la consulta de la hoja de calibración o de características técnicas aportada por cada fabricante de sensores. Los valores de las incertidumbres de medida de cada variable fueron los mostrados en la Tabla 3.11:

Tabla 3.11. Incertidumbres asociadas a cada variable de medida de ensayo

Variable de medida	Incertidumbre asociada
Radiación solar, G_T	$u(G_T)=1,35\%$ del valor medido
Flujo másico, \dot{m}	$u(\dot{m})= 0,25\%$ del valor medido
Temperatura ambiente, t_a	$u(t_a)= 0,2/k=0,1$
Salto térmico, ΔT	$u(\Delta T)=(0,2/k) \cdot \sqrt{2}=0,141$
Temperatura de entrada a captador, t_{in}	$u(t_{in})=0,2/k=0,1$
Área útil de captación, A_u	$u(A_u)=0,15\%$ del valor medido

A continuación, se calculan las incertidumbres combinadas para las 3 columnas de datos con los que se realizó el análisis MLR de cada ensayo, siendo las de rendimiento, $u(\eta)$, temperatura media reducida, $u(T^*)$ y la del tercer valor, $u(T^{*2} \cdot G_T)$. Esta operación se realiza para las n filas de datos registrados en las 4 etapas de cada ensayo. Para obtener la incertidumbre combinada de rendimiento, $u(\eta)$ se aplica la Ec. 3.15 en cada fila de los n -registros de datos por cada ensayo:

$$u(\eta) = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \dot{m}} \cdot u(\dot{m})\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \Delta T} \cdot u(\Delta T)\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial G_T} \cdot u(G_T)\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial A_u} \cdot u(A_u)\right)^2} \quad (3.15)$$

En esta ecuación, cada uno de los 4 términos de la raíz cuadrada correspondientes a derivadas parciales, es obtenido del siguientes modo:

$$\frac{\partial \eta}{\partial \dot{m}} = \frac{C_p \cdot \Delta T}{A_U \cdot G_T}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \Delta T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_U \cdot G_T}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial A_U} = \frac{-\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_U^2 \cdot G_T}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial G_T} = \frac{-\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_U \cdot G_T^2}$$

Para obtener la incertidumbre combinada de las otras columnas, se opera de igual forma, tal y como se muestra en la Ec. 3.16 y en la Ec.3.17:

$$u(T^*) = \sqrt{\left(\frac{\partial T^*}{\partial t_m} \cdot u(t_{in})\right)^2 + \left(\frac{\partial T^*}{\partial t_a} \cdot u(t_a)\right)^2 + \left(\frac{\partial T^*}{\partial G_T} \cdot u(G_T)\right)^2} \quad (3.16)$$

Donde:

$$\frac{\partial T^*}{\partial t_m} = \frac{1}{G_T}$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial t_a} = -\frac{1}{G_T}$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial G_T} = \frac{t_a - t_m}{G_T^2}$$

$$u(T^{*2} \cdot G_T) = \sqrt{\left(\frac{\partial(T^{*2} \cdot G_T)}{\partial t_m} \cdot u(t_{in})\right)^2 + \left(\frac{\partial(T^{*2} \cdot G_T)}{\partial t_a} \cdot u(t_a)\right)^2 + \left(\frac{\partial(T^{*2} \cdot G_T)}{\partial G_T} \cdot u(G_T)\right)^2} \quad (3.17)$$

Donde:

$$\frac{\partial(T^{*2} \cdot G_T)}{\partial t_m} = \frac{2(t_m - t_a)}{G_T}$$

$$\frac{\partial(T^{*2} \cdot G_T)}{\partial t_a} = -\frac{2(t_a - t_m)}{G_T}$$

$$\frac{\partial(T^{*2} \cdot G_T)}{\partial G_T} = -\frac{(t_m - t_a)^2}{G_T^2}$$

Para conocer cuánto suponen porcentualmente las incertidumbres combinadas de cada una de las 3 variables del ajuste MLR frente a su propio valor, se incluye una columna final con el valor de estos porcentajes.

El efecto que tienen los tres valores de incertidumbres combinadas obtenidos se puede visualizar representando la curva de rendimiento del ensayo junto con la incertidumbre que se ha obtenido para cada valor de rendimiento, $u(\eta)$ como se muestra en la Fig. 3.26.

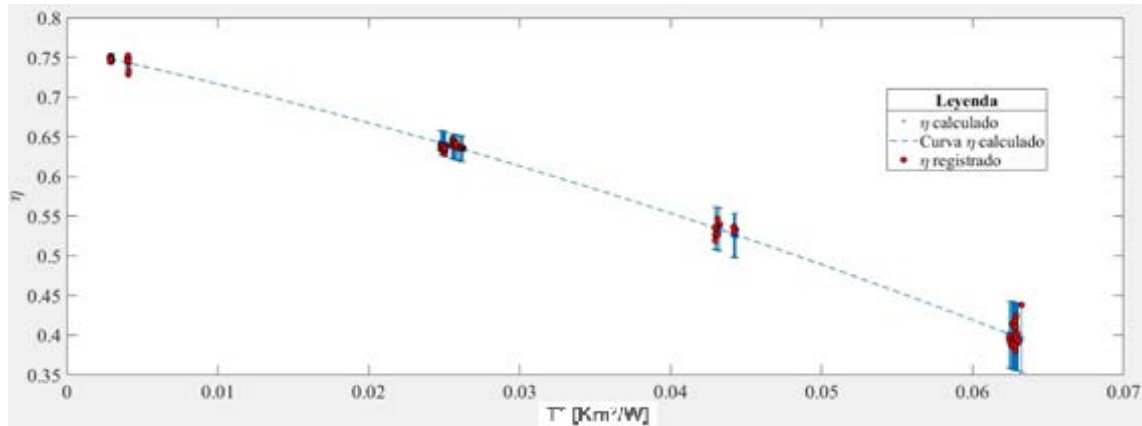


Figura 3.26. Superposición de la curva de eficiencia calculada en el análisis MLR con los valores de rendimiento registrados durante el ensayo afectados por su incertidumbre, para captador tipo serpentín, a 100 l/h y con una radiación de 1.000 W/m²

En esta curva solo se representan las barras de error del valor de rendimiento para aquellos valores de T^* que se registraron durante el ensayo. Además de este error en el valor del rendimiento, existiría una incertidumbre asociada al error en la medida de la propia T^* y en la medida del tercer valor necesario para el ajuste MLR, $T^{*2} \cdot G_T$, por lo que habría que obtener los tres coeficientes de la curva característica de ensayo afectados por la incertidumbre, de forma que se cuantificaran las bandas de incertidumbre buscadas, y que deberán agrupar en su interior todas las posibles combinaciones de errores de medida existentes en cada ensayo.

Para ello, las incertidumbres combinadas se deben trasladar a la curva de eficiencia obtenida en el método de ajuste MLR, lo que precisa minimizar la función χ^2 , que se obtiene sumando los n valores de χ_i^2 obtenidos según indica la Ec. 3.18, y necesitando aplicar un proceso de cálculo iterativo que se realiza con la función *Solver* de Excel.

$$\chi_i^2 = \frac{\eta_i - \eta_0 - k_1 \cdot T_i^* - k_2 \cdot T_i^{*2} \cdot G_{Ti}}{\sigma_i} \quad (3.18)$$

Esto es así debido a que se necesita conocer el valor de las desviaciones estándar σ_i de la función χ^2 , y σ_i depende de η_0 , k_1 y k_2 , como se comprueba en la Ec. 3.19. La semilla de inicio de los cálculos iterativos la forman los 3 coeficientes característicos de la curva de eficiencia que se obtuvieron en cada ensayo al aplicar el ajuste MLR inicial en Matlab, y como resultado, se obtienen los 3 coeficientes definitivos del ensayo, ya afectados por la incertidumbre de medida, siendo los que minimizan la función χ^2 .

$$\sigma_i = \sqrt{u(\eta_i)^2 + (u(T^*_i) \cdot k_1)^2 + (u(T^{*2}_i \cdot G_{T_i}) \cdot k_2)^2} \quad (3.19)$$

En este punto, solo falta ensamblar una matriz $[X]$ de dimensiones $n \times 3$ que, tras operar en Matlab, nos devuelva las covarianzas y las incertidumbres en otra matriz simétrica $[M]$ de dimensión 3×3 , aplicando el proceso que se recomienda en [Press,1992]. Para ello se crean 3 columnas de n filas con los siguientes valores:

$$[X] = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_i} & \frac{T^*_i}{\sigma_i} & \frac{T^{*2}_i \cdot G_{T_i}}{\sigma_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{1}{\sigma_n} & \frac{T^*_n}{\sigma_n} & \frac{T^{*2}_n \cdot G_{T_n}}{\sigma_n} \end{pmatrix}$$

Y se realiza la operación mostrada en la Ec. 3.20, obteniendo la matriz $[M]$, la cual nos devuelve los valores de incertidumbres y covarianzas de η_0 , k_1 y k_2 , como muestra la Tabla 3.12.

$$[M] = \text{inv}([X'] \cdot [X]) \quad (3.20)$$

$$[M] = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ \cdots & m_{22} & m_{23} \\ \cdots & \cdots & m_{33} \end{pmatrix}$$

Tabla 3.12. Relación entre los valores de la matriz final y las incertidumbres y covarianzas de los resultados de ensayo tras propagar la incertidumbre de medida

Valor en la matriz $[m]$	Significado estadístico
$\sqrt{m_{11}}$	$u(\eta_0)$
$\sqrt{m_{22}}$	$u(k_1)$
$\sqrt{m_{33}}$	$u(k_2)$
$-m_{12}$	$\text{COV}(\eta_0, k_1)$
$-m_{13}$	$\text{COV}(\eta_0, k_2)$
$-m_{23}$	$\text{COV}(k_1, k_2)$

3.9. Efecto de la incertidumbre en los resultados de ensayo

El resultado final de la propagación de incertidumbre hace que para cada curva de eficiencia calculada, se tengan 2 curvas límite que encierran lo que se conoce como banda de incertidumbre: aquella zona donde se encontraría el rendimiento del captador con igual probabilidad, para cada caudal de ensayo, como se muestra en la Fig. 3.27, donde se representan estas zonas para el captador tipo serpentín con los caudales de 40 l/h y 160 l/h.

Estas curvas límite son las obtenidas al utilizar la combinación de coeficientes característicos que nos devuelven la mejor y peor curva posible de cada captador y cada caudal ensayado, maximizando o minimizando los términos de ganancias y pérdidas energéticas respectivamente en cada caso:

- Mejor curva: $\eta_{0\ max} = \eta_0 + u(\eta_0)$, $k_{1\ min} = k_1 - u(k_1)$ y $k_{2\ min} = k_2 - u(k_2)$
- Peor curva: $\eta_{0\ min} = \eta_0 - u(\eta_0)$, $k_{1\ max} = k_1 + u(k_1)$ y $k_{2\ max} = k_2 + u(k_2)$

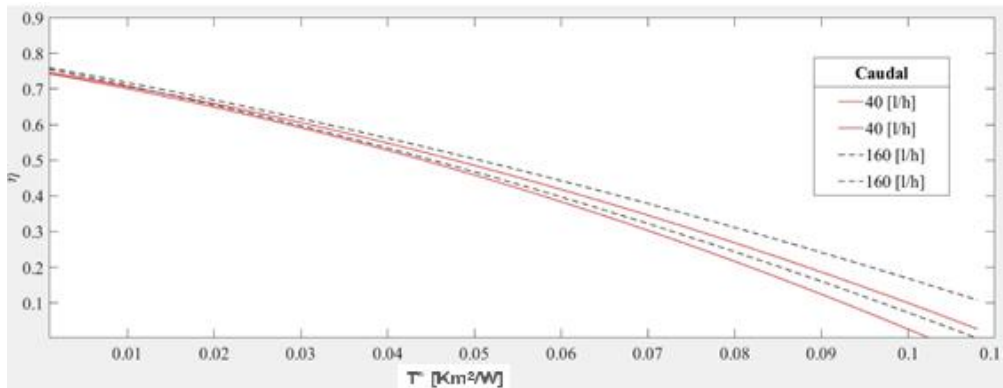


Figura 3.27. Comparativo de curvas de eficiencia límites para los dos caudales límite ensayados en el captador tipo serpentín, con una radiación de 1.000 W/m²

Como se observa, las curvas límite de la banda de incertidumbre se separan de la curva de rendimiento ensayada conforme T^* crece, o lo que es lo mismo: existe mayor incertidumbre para conocer el rendimiento de un captador que opera lejos de su rendimiento máximo, conforme nos alejamos de η_0 . Esto puede estar causado por 2 fenómenos: en primer lugar, debido a que la propagación de incertidumbre se ha realizado combinando las incertidumbres tipo A y B, y a que en las zonas de bajo rendimiento existen más errores del tipo aleatorio. En segundo lugar, por el aumento del error relativo al calcular la energía producida \dot{Q}_{cap} cuando los captadores trabajan con T^* altas, ya que al ser esta energía muy pequeña, para pequeñas desviaciones entre valores predichos y calculados se obtienen mayores errores que en el caso de hacerlo con T^* bajas, donde \dot{Q}_{cap} es mucho mayor.

La ventaja de trabajar con bandas de incertidumbre en vez de con curvas de rendimiento reside en la facilidad para interpretar la dependencia del rendimiento con el caudal circulante de forma inequívoca. Existen zonas en las que no se pueden obtener conclusiones a simple vista, debido a que los cruces de bandas de incertidumbre correspondientes a distintos caudales hacen que exista más de una condición de funcionamiento del captador donde el rendimiento, para una determinada T^* , es igual de probable.

Lo mismo es aplicable a la comparativa entre captadores: solo podemos obtener conclusiones acerca de cuál captador es el más recomendable para unas condiciones dadas donde no existan cruces entre bandas de incertidumbre, como se muestra en la Fig. 3.28, para los caudales límite ensayados y para una radiación de 1.000 W/m².

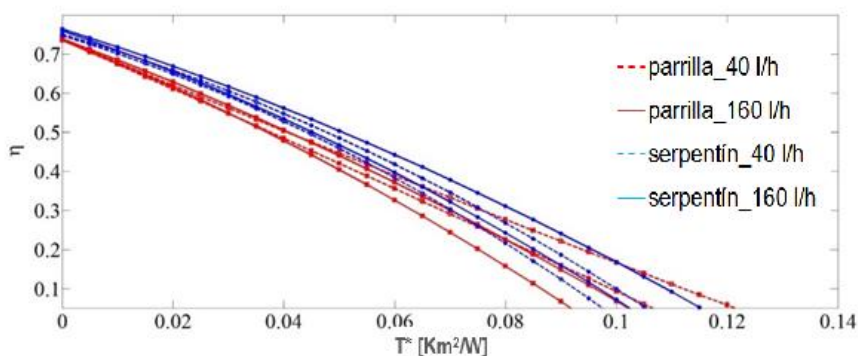


Figura 3.28. Comparativo de curvas de eficiencia límites entre los dos tipos de captador ensayado para los caudales límite ensayados y una radiación de 1.000 W/m²

3.10. Simulación de instalaciones solares térmicas con las curvas de rendimiento obtenidas experimentalmente tras la propagación de incertidumbre

Una vez se obtienen las curvas límite de rendimiento para cada captador según el caudal de ensayo, y propagando su incertidumbre de medida, se puede comprobar el efecto, tanto del caudal de ensayo como del tipo de absorbedor seleccionado en una IST para calentamiento de ACS.

Para garantizar que los resultados obtenidos en estas simulaciones sean independientes de la instalación elegida, se proyectaron 2 tipos de IST diferentes en cuanto a demanda energética de ACS, lo cual hace que se tengan 2 superficies de captación y volúmenes de acumulación distintos. De cara a poder simular estos casos de estudio, se precisa realizar un dimensionado previo de sus sistemas de tuberías, acumulación, intercambio y circulación de fluido. Las IST propuestas para estudio son las siguientes:

- Instalación tipo A: Residencia de estudiantes con 90 apartamentos ocupados por 2 personas cada uno.
- Instalación tipo B: Edificio de viviendas multifamiliar de 4 plantas y 14 viviendas, con 4 personas por vivienda.

Los datos climáticos que definen las condiciones exteriores de cada caso de estudio son idénticos, lo que garantiza poder comparar los resultados simulados eliminando el efecto de las condiciones climáticas. En concreto, la ubicación de ambas instalaciones se encuentra en Málaga, (36,76°N, -4,30°W), localidad representativa de un clima mediterráneo.

El tipo de IST de ambos casos de estudio se corresponde con un sistema todo centralizado, donde se comparte superficie de captación y sistemas de acumulación, intercambio y apoyo auxiliar, como muestra la Fig. 3.29. Dado que el interés del estudio se centra en el circuito primario, no se estudian las condiciones del sistema de distribución secundario, estimando siempre que el caudal del circuito secundario en todos los casos estudiados será idéntico al caudal del circuito primario.

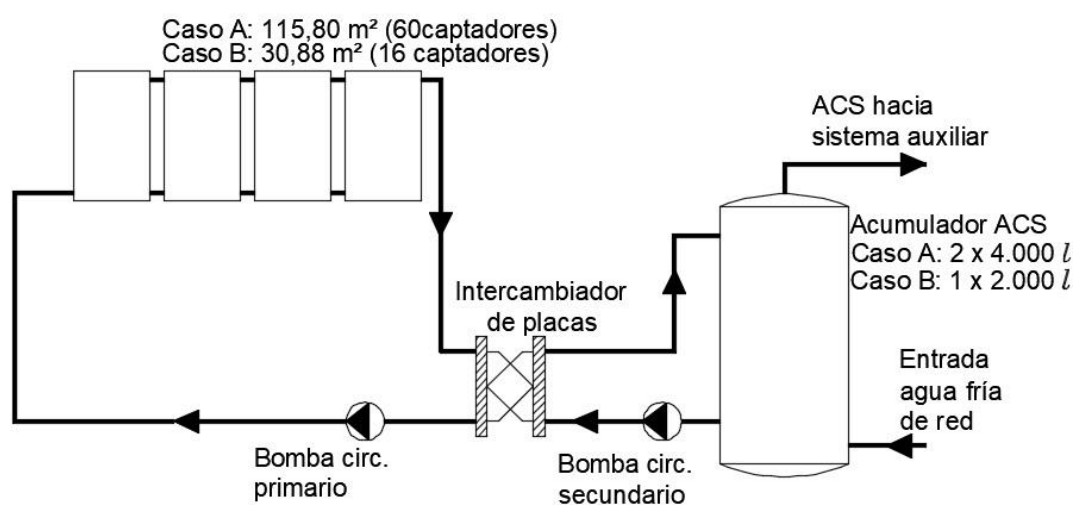


Figura 3.29. Esquema de principio de las IST para calentamiento de ACS simuladas

La diferencia principal entre los 2 tipos de IST simuladas se encuentra en la demanda energética de ACS, que responde al tamaño de cada caso de estudio y en ambos casos se cuantifica según el DB HE-4 de [CTE, 2017] para el consumo de ACS con una temperatura de referencia de 60°C, [Viti, 1996] y [Buckles, 1980] para los perfiles mensuales y diarios de consumo respectivamente y [UNE 94002, 2005] para la temperatura de agua de red. Dicha demanda energética es de 139.835,70 kWh/año para la residencia y de 29.710,34 kWh/año para el edificio de viviendas. El sistema auxiliar de ambas IST es de tipo instantáneo, con la misma temperatura de consigna y ambos son por efecto Joule. Se pueden consultar datos detallados de cada tipo de IST en apartados posteriores.

Para comparar el efecto del caudal y, a su vez, el del tipo de absorbedor seleccionado, se propusieron los siguientes casos de estudio mostrados en la Tabla 3.13, resultantes de todas las combinaciones posibles entre tipo de IST, tipo de captador y caudal de trabajo, teniendo en cuenta que, en todos los casos, los captadores se conectan siempre en paralelo.

Tabla 3.13. Relación de casos de estudio para la simulación

Caso	Tipo de IST	Tipo de captador	Caudal por captador
1	A-Residencia	Parrilla	Bajo 40 l/h
2	A-Residencia	Parrilla	Alto 160 l/h
3	A-Residencia	Serpentín	Bajo 40 l/h
4	A-Residencia	Serpentín	Alto 160 l/h
5	B- Edif. viviendas	Parrilla	Bajo 40 l/h
6	B- Edif. Viviendas	Parrilla	Alto 160 l/h
7	B- Edif. Viviendas	Serpentín	Bajo 40 l/h
8	B- Edif. viviendas	Serpentín	Alto 160 l/h

Para cada tipo de IST y tipo de captador se simularon los 2 caudales límites ensayados afectados por su incertidumbre, de cara a simular con las curvas que teóricamente deberían ser más diferentes: la curva de menor caudal ensayado con menor rendimiento y la curva de mayor caudal ensayado con mayor rendimiento, las cuales se muestran en la Tabla 3.14 y se representan en la Fig. 3.30.

Tabla 3.14. Valores para los coeficientes de las curvas de rendimiento simuladas con cada captador y caudal

Caudal (l/h)	Coef. de curva	Valor ensayado	Incertidumbre (u)	Valor final
Captador tipo parrilla				
40	η_0	0,7375	$\pm 0,0013$	0,7362
	k_1 (W/m ² K)	6,088	$\pm 0,1205$	-6,2085
	k_2 (W/m ² K ²)	(-)0,0002	$\pm 0,0023$	-0,0021
160	η_0	0,7371	$\pm 0,0022$	0,7393
	k_1 (W/m ² K)	5,4187	$\pm 0,1758$	-5,2429
	k_2 (W/m ² K ²)	0,0174	$\pm 0,0028$	-0,0146
Captador tipo serpentín				
40	η_0	0,7488	$\pm 0,0015$	0,7473
	k_1 (W/m ² K)	4,2018	$\pm 0,1255$	-4,3273
	k_2 (W/m ² K ²)	0,0266	$\pm 0,0023$	-0,0289
160	η_0	0,7618	$\pm 0,0022$	0,764
	k_1 (W/m ² K)	4,6263	$\pm 0,1765$	-4,4498
	k_2 (W/m ² K ²)	0,0179	$\pm 0,0028$	-0,0151

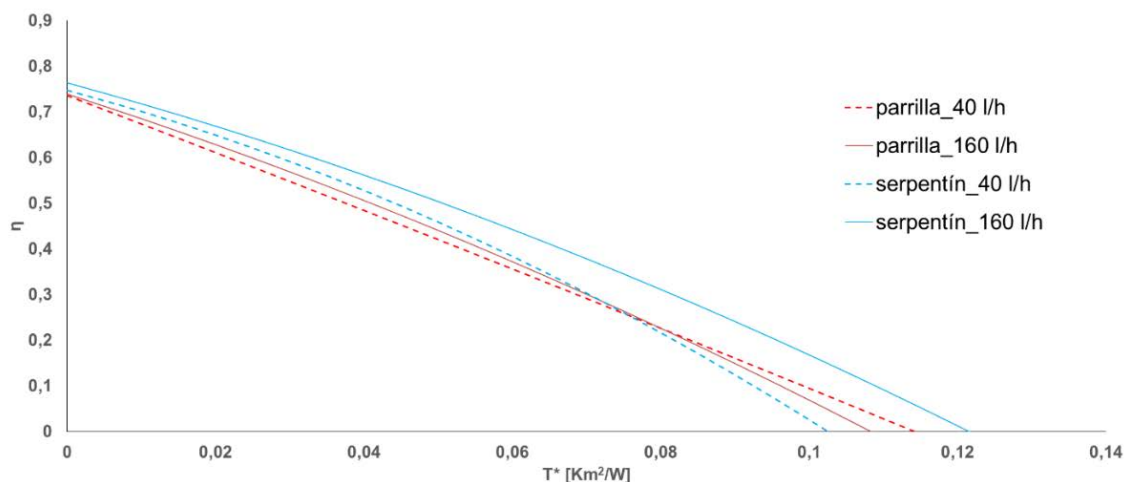


Figura 3.30. Curvas de rendimiento utilizadas en las simulaciones por tipo de captador y caudal

Con estas consideraciones, se procedió a simular cada tipo de instalación en el software Acsol 2.5, con base TRNSYS 16. Este software precisa de gran cantidad de datos para realizar las simulaciones del comportamiento energético de cada sistema durante un año, necesitando consultar las fichas técnicas de los equipos seleccionados durante el dimensionado de cada IST. Estas fichas se adjuntan en el Anexo IV.

Las principales diferencias en el dimensionado son consecuencia del caudal circulante en cada caso de estudio, lo cual hace que se deban seleccionar distintos equipos debido al punto de trabajo obtenido en cada situación. Este aspecto es especialmente controlante en cuanto a la selección de intercambiadores de calor y bombas circuladoras se refiere, los que se realizó utilizando los siguientes programas de selección:

- Bombas circuladoras GRUNDFOS: Grundfos Product Center.
<https://product-selection.grundfos.com/>
- Intercambiadores de placas ALFA LAVAL: Alfa Select HVAC 2018.
<https://www.alfalaval.com/industries/hvac/product-selection-tool/>

Al utilizar el programa de selección de intercambiadores, se obtuvieron los datos relativos al comportamiento térmico de los equipos seleccionados, como la diferencia de temperaturas media logarítmica DTLM, necesaria para obtener la eficiencia de intercambio que nos solicita Acsol 2.5. Por su parte, el programa de selección de bombas circuladoras nos indica la potencia eléctrica que necesita cada equipo al trabajar en el punto seleccionado durante el dimensionado, (el cual realmente debería garantizarse mediante válvulas de equilibrado hidráulico.)

Como punto de partida en el dimensionado se fijó un valor de pérdidas de carga hidráulicas unitarias de entre 10 y 20 mm.c.a./m de tubería, en función del “*Diagrama oficial de pérdidas de carga en tuberías de cobre para usos corrientes a una temperatura del agua 40°C*”, del Centro Español de Información del Cobre, CEDIC.

Esta consideración permite obtener diámetros de tubería menores para los caudales inferiores, pero, sobre todo, interviene en la selección del intercambiador de placas, quedando condicionado por las pérdidas de carga límites que permite el fabricante de dichos sistemas. Además de las pérdidas de carga localizadas en el intercambiador de calor, existen otras no menos importantes, pertenecientes a los captadores solares, siendo necesario disponer de una estimación de éstas en función del caudal circulante, con gráficos aportados por el fabricante, como se observa en la Fig. 3.31 para un

captador del fabricante BUDERUS, y con características similares a las del modelo ensayado.

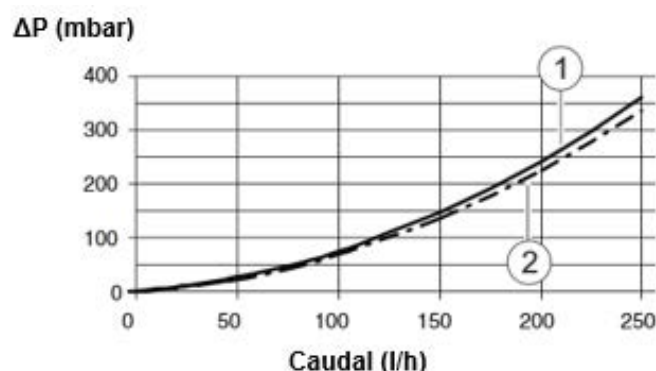


Figura 3.31. Curvas de pérdida de carga en función del caudal para captadores tipo serpentín del fabricante Buderus. 1) Modelos verticales, 2) modelos horizontales. Fuente: Buderus

En este trabajo no se dispuso de una información exacta de las pérdidas de carga en función del caudal circulante de cada tipo de captador, no habiendo obtenido experimentalmente las ecuaciones que relacionen la caída de presión en cada tipo de captador en función del caudal circulante, y haciendo de este modo más precisa la selección de equipos para su posterior simulación.

Por lo tanto, en los cálculos hidráulicos se han supuesto pérdidas de carga similares en los dos tipos de captador, consideración que sobredimensiona el punto de trabajo de la bomba para los casos de estudio con el captador tipo parrilla, ya que, por diseño, sus pérdidas de carga frente al tipo serpentín deberían ser menores, a igualdad de caudal.

Tras realizar el cálculo de las pérdidas de carga en cada tipo de caso simulado, se puede comprobar que las pérdidas de carga más importantes son las localizadas en intercambiador y en captadores. La Tabla 3.15, muestra un resumen de los datos relativos a la selección de las bombas para cada caso de estudio, mientras que los gráficos H-Q de las bombas correspondientes pueden consultarse en el Anexo IV.

Tabla 3.15. Valores para la selección de las bombas circuladoras en cada caso de estudio simulado

Caso	IST	Caudal teórico	Altura manométrica	Bomba seleccionada	Punto de trabajo estimado
1	Residencia bajo caudal	2.400 l/h	5 m.c.a.	Grundfos Magna 3 25-60	2.320 l/h 5 m.c.a.
2	Residencia alto caudal	9.600 l/h	13 m.c.a.	Grundfos Magna 1 40-180	9.260 l/h 14,5 m.c.a
3	Edf. Viviendas bajo caudal	640 l/h	3,5 m.c.a.	Grundfos Alpha Solar 15-75 130	691,3 l/h 3,5 m.c.a.
4	Edf. Viviendas alto caudal	2.560 l/h	7 m.c.a.	Grundfos Alpha solar 25-145 180	2.765 l/h 70 m.c.a.

En cuanto a la selección del intercambiador de calor más adecuado para cada caso, se tuvo en cuenta lo que estima [CTE, 2017], en relación con la potencia de intercambio, que debe ser igual o superior a 500 veces la superficie útil de captación.

Con esta premisa, se seleccionaron los intercambiadores que mejor se ajustaron a cada caso de estudio, teniendo en cuenta el caudal circulante, (igual para cada circuito el intercambiador), el valor de la DTLM y las pérdidas de carga localizadas. Con estas

premisas, el software de cálculo de ALFA LAVAL ordena los posibles equipos que se ajustan a las condiciones simuladas, en función del valor de su porcentaje de sobredimensionado, conocido como *Duty Margin*. Es decir, se recomienda seleccionar aquel intercambiador con un valor de sobredimensionado menor, que asegurará que sus pérdidas de carga en cualquier lado de las conexiones o en el interior no sean superiores al límite de diseño, el cual se encuentra para valores de velocidad del fluido superiores a 7 m/s en las conexiones o a 5 m/s en los canales internos de las placas de intercambio térmico.

El único dato que falta proponer durante el dimensionado son las temperaturas de trabajo que definan la entrada desde captadores, (te_1) y la entrada desde acumulador, (te_2), para lo que se siguió lo propuesto por [Peuser, 2004], tomando como premisa que para bajos caudales la entrada desde captadores puede fijarse a una temperatura de 70°C con entrada desde acumulador a 30°C, siendo de 60°C y 40°C respectivamente para altos caudales. Esto es causado por la menor estratificación conseguida en el acumulador cuando aumentamos la mezcla debida al mayor caudal circulante. El esquema de dichas temperaturas se muestra en la Fig. 3.32, mientras que los datos referidos a la selección de cada intercambiador se muestran en la Tabla 3.16. Para más información sobre los intercambiadores seleccionados, se sugiere consultar el Anexo IV.

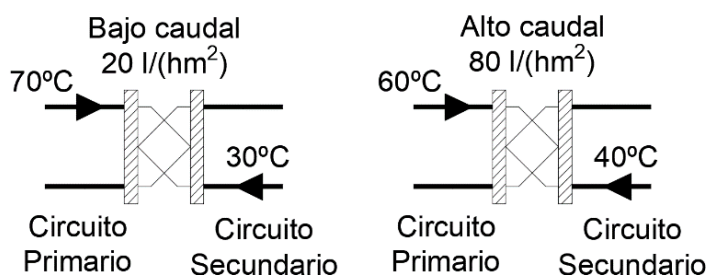


Figura 3.32. Valores para temperaturas de entrada del circuito primario y secundario del intercambiador en cada caso de estudio

Tabla 3.16. Valores para la selección de los intercambiadores de placas de cada caso de estudio simulado

	Residencia de estudiantes		Edificio de viviendas	
	20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)	20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)
Modelo	A. Laval T2 BFG	A. Laval T5 MFG	A. Laval T2 BFG	A. Laval M3 FG
Potencia	58 kW	58 kW	15,44 kW	15,44 kW
Nº Placas	23	9	8	7
te_1	70 °C	60 °C	70 °C	60 °C
te_2	30 °C	40 °C	30 °C	40 °C
ts_1	48,4 °C	54,6 °C	49,2 °C	54,8 °C
ts_2	51,6 °C	45,4 °C	50,8 °C	45,2 °C
F. másico prim.	2.316 l/h	9.264 l/h	640 l/h	2.560 l/h
F.másico sec.	2.316 l/h	9.264 l/h	640 l/h	2.560 l/h
ΔP primario	15 kpa	91,5 kpa	12,3 kpa	33,4 kpa
ΔP primario	15,4 kpa	93,5 kpa	7,51 kpa	34,9 kpa
D.T.L.M.	18,4 °C	14,6 °C	19,2 °C	14,8 °C
Eficiencia	54 %	27 %	52 %	26 %
Sup. intercambio	0,4 m ²	0,6 m ²	0,1 m ²	0,2 m ²
Duty Margin	1 %	18 %	0,9 %	2,7 %

Por su parte, los acumuladores fueron seleccionados del mismo fabricante y misma serie, para garantizar que las relaciones de aspecto geométricas y los coeficientes de transferencia de calor fueran similares. En este paso del dimensionado, también se

cumplió lo estipulado en el apartado DB-HE4 de [CTE, 2017], siendo la relación entre volumen de acumulación y la superficie de captación limitados por el umbral $50 < V_{ac}/A_u < 180 \text{ l/m}^2$, como se muestra en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Valores para la selección de acumuladores en cada caso de estudio simulado

Caso	IST	Nº Captadores	Superficie	V_{ac}/A_u	Acumulador
1	Residencia bajo caudal	60 (12 grupos de 5)	115,80 m ²	69,08 l/m ²	2 x Lapesa MVV4000RB
2	Residencia alto caudal	60 (12 grupos de 5)	115,80 m ²	69,08 l/m ²	2 x Lapesa MVV4000RB
3	Edf. Viviendas bajo caudal	16 (4 grupos de 4)	30,88 m ²	64,76 l/m ²	1 x Lapesa MVV2000RB
4	Edf. Viviendas alto caudal	16 (4 grupos de 4)	30,88 m ²	64,76 l/m ²	1 x Lapesa MVV2000RB

Para la simulación de cada caso en el programa Acsol 2.5 se introdujeron los datos comunes mostrados en la Tabla 3.18, mientras que para cada caso concreto se tuvieron los datos especificados en la Tabla 3.19. Si se desea, se pueden consultar los informes de Acsol 2.5 en el Anexo VI.

Tabla 3.18. Datos comunes para simulación en Acsol 2.5 de los 2 casos de estudio

Captador Caudal	parrilla		serpentín	
	20 l/(hm²)	80 l/(hm²)	20 l/(hm²)	80 l/(hm²)
Tipo de instalación	Todo centralizado			
CONDICIONES EXTERIORES				
Localización	AMT Málaga, 36,67°N, España			
Albedo	0,20			
Temperatura de interiores en invierno	15 °C			
Temperatura de interiores en verano	20 °C			
No considerar sombras				
CIRCUITO PRIMARIO				
Geometría del campo				
Conexionado captadores	Paralelo			
Ángulo de inclinación sobre la horizontal	50°			
Ángulo azimut	0°			
Características de captadores				
Formato de curva de eficiencia	t _m -t _a			
Caudal en condiciones de ensayo	20 l/(hm²)	80 l/(hm²)	20 l/(hm²)	80 l/(hm²)
a ₀	0,7375	0,7371	0,7488	0,7618
a ₁	6,088 W/(m²K)	5,4187 W/(m²K)	4,2018 W/(m²K)	4,6263 W/(m²K)
a ₂	0,0002 W/(m²K²)	0,0174 W/(m²K²)	0,0266 W/(m²K²)	0,0179 W/(m²K²)
Modif. Áng. Incidenc 1er orden. b ₀	0,10			
Fluido Primario	Agua			
Caudal operación	20 l/(hm²)	80 l/(hm²)	20 l/(hm²)	80 l/(hm²)
Intercambiador de calor				
Sí se consideran las pérdidas de calor en tuberías del campo				
Tuberías intercambiador a captadores				
% por interior edificio	15%			
Cond. Térmica aislamiento	0,04 W/(mK)			
Espesor aislamiento	30 mm			

CIRCUITO SECUNDARIO	
Acumulador Central	
Cond. Térmica aislamiento	0,04 W/(mK)
Espesor aislamiento	80 mm
Caudal bomba secundario igual a caudal bomba primario	
Tuberías intercambiador a acumulador	
Cond. Térmica aislamiento	0,04 W/(mK)
Espesor aislamiento	30 mm
CIRCUITO TERCIARIO	
No considerar tuberías de distribución ni de recirculación de ACS	
VIVIENDAS	
Temperatura ACS	60 °C
Perfil demanda diario	F-Chart
Perf. Dem. mensual	DTIE
CONTROL	
Temp. max acumulador T3MAX	80 °C
ΔT bomba ON	7 °C
ΔT bomba OFF	2 °C
SISTEMA AUXILIAR	
Temp. preparación	60 °C
CONSUMOS ENERGÉTICOS BOMBAS Y AUXILIARES	
Pot. Bomba recirc.	0 W
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN	
Mes inicio simulac.	Enero
Mes final simulación	Diciembre
Paso de tiempo	30 min

Tabla 3.19. Datos específicos para simulación en Acsol 2.5 entre los 2 casos de estudio

Instalación		Residencia de estudiantes			
Captador		parrilla		serpentin	
Caudal	20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)	20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)	
CIRCUITO PRIMARIO					
Geometría del campo					
Superficie de captación			115,80 m ²		
Intercambiador de calor					
Potencia Nominal			57.900 W		
DTLM	18,40 °C	14,60 °C	18,40 °C	14,60 °C	
Tuberías intercambiador a captadores					
Longitud			5 m		
Diámetro tubería	42 mm	64 mm	42 mm	64 mm	
CIRCUITO SECUNDARIO					
Acumulador Central					
Relación V_{acu}/A_{total}			69,08 l/m ²		
Altura equivalente			2,15 m		
Tuberías intercambiador a acumulador					
Longitud			5m		
Diámetro tubería	42 mm	64 mm	42 mm	64 mm	
VIVIENDAS					
Número de viviendas			90 viviendas		
Consumo			82 l/(día vivienda)		
CONSUMOS ENERGÉTICOS BOMBAS Y AUXILIARES					
Equipo			Efecto Joule $\eta=100\%$		
Pot. Bomba primario	63,42 W	603 W	63,42 W	603 W	
Pot. Bomba secund.	63,42 W	603 W	63,42 W	603 W	
Instalación		Edificio de viviendas			
Captador		parrilla		serpentin	
Caudal	20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)	20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)	
CIRCUITO PRIMARIO					
Geometría del campo					

Superficie de captación			30,88 m ²		
Intercambiador de calor					
Potencia Nominal			15.440 W		
DTLM	19,20 °C	14,80 °C		19,20 °C	14,80 °C
Tuberías intercambiador a captadores					
Longitud			40 m		
Diámetro tubería	28 mm	42 mm		28 mm	42 mm

CIRCUITO SECUNDARIO

Acumulador Central					
Relación V_{acu}/A_{total}			64,70 l/m ²		
Altura equivalente			2,12 m		
Tuberías intercambiador a acumulador					
Longitud			12 m		
Diámetro tubería	28 mm	42 mm		28 mm	42 mm

VIVIENDAS

Consumo			112 l/(día vivienda)		
---------	--	--	----------------------	--	--

CONSUMOS ENERGÉTICOS BOMBAS Y AUXILIARES

Equipo	Efecto Joule $\eta=100\%$				
Pot. Bomba primario	19 W	56,92 W	19 W	56,92 W	
Pot. Bomba secund.	19 W	56,92 W	19 W	56,92 W	
Número de viviendas			14 viviendas		

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Comparativa entre curvas de rendimiento según caudal circulante y según tipo de absorbedor

Todos los resultados obtenidos por los ensayos sirven para comprobar dos puntos importantes. En primer lugar, que el rendimiento obtenido por cada tipo de absorbedor es distinto, aunque se expongan exactamente a las mismas condiciones de trabajo, (temperatura de entrada del fluido, temperatura ambiente, caudal y radiación), y por tanto, se puede determinar si ambos comportamientos difieren lo suficiente como para establecer un diseño superior al otro en cuanto a resultados energéticos.

En segundo lugar, se podría cuantificar el efecto del caudal circulante por cada tipo de captador en el valor final de su eficiencia térmica. Este punto nos permitiría clasificar los caudales en cuanto a mejor o peor rendimiento obtengan, y en función de las condiciones de trabajo existentes, definidas por el valor de T^* .

Ambos resultados se pueden comprobar en la Fig. 4.1, donde se comparan las curvas de ensayo obtenidas para cada caudal ensayado en los 2 tipos de captador. En ellas se obtiene una conclusión clara: para cualquier valor de T^* el captador tipo serpentín siempre obtiene mejor rendimiento que el captador tipo parrilla, siendo su curva la que menor pendiente tiene, debido a que sus coeficientes de pérdidas térmicas son menores. Solo existe una discrepancia en el caso de 40 l/h, donde se da un cruce de curvas para $T^*=0,08$.

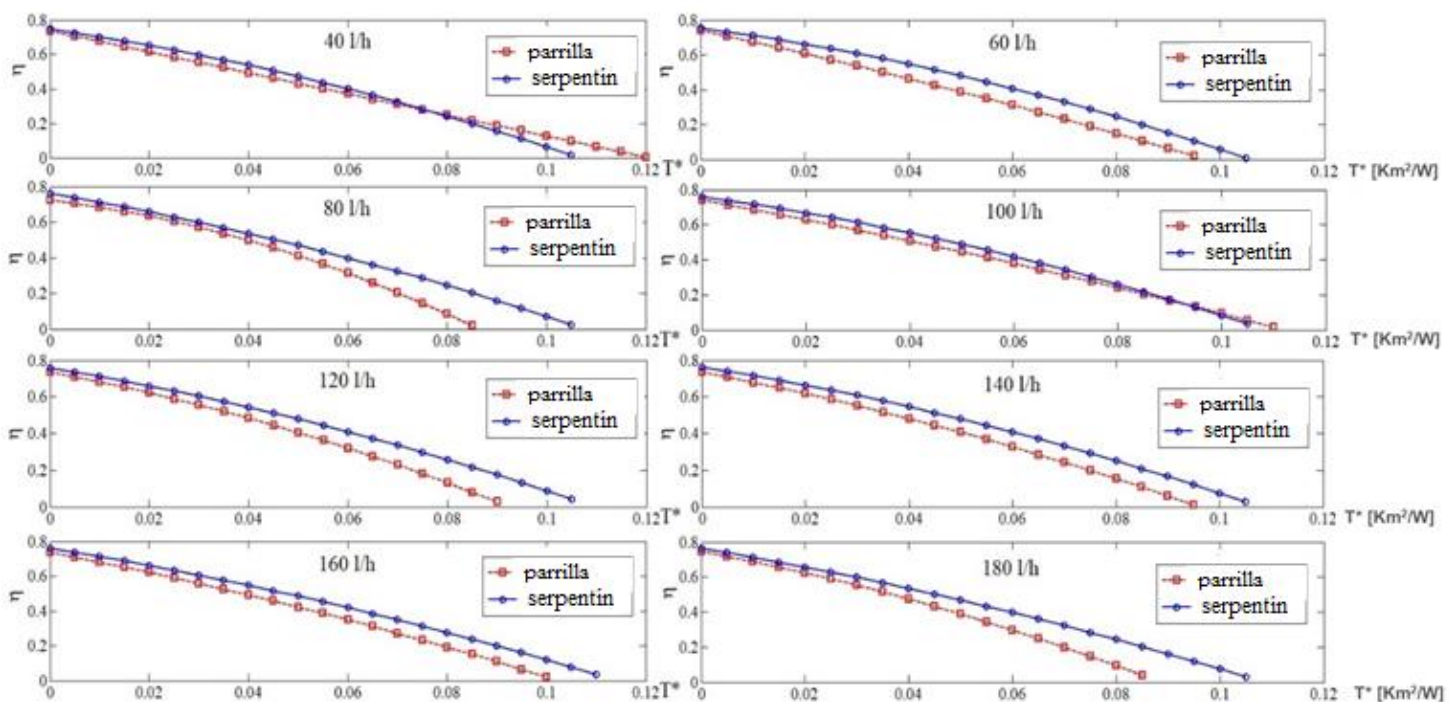


Figura 4.1. Comparativa de curvas de ensayo para cada caudal y captador ensayado, para una radiación de 1.000 W/m²

En la Fig. 4.2 se muestran todas las curvas obtenidas para todos los ensayos del captador tipo parrilla, y en la Fig.4.3 para el captador tipo serpentín.

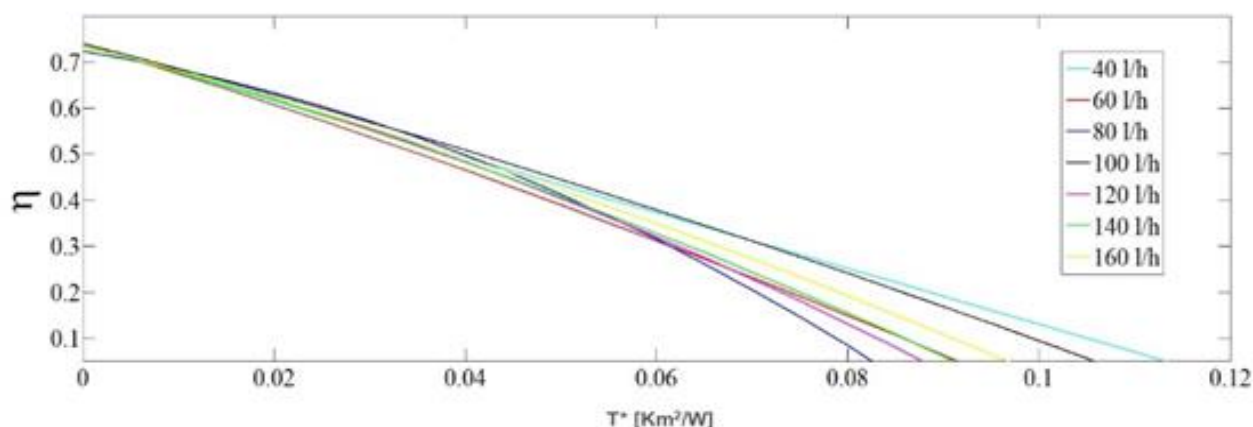


Figura 4.2. Curvas de rendimiento obtenidas para los distintos caudales de ensayo en captador tipo parrilla, para una radiación de 1.000 W/m²

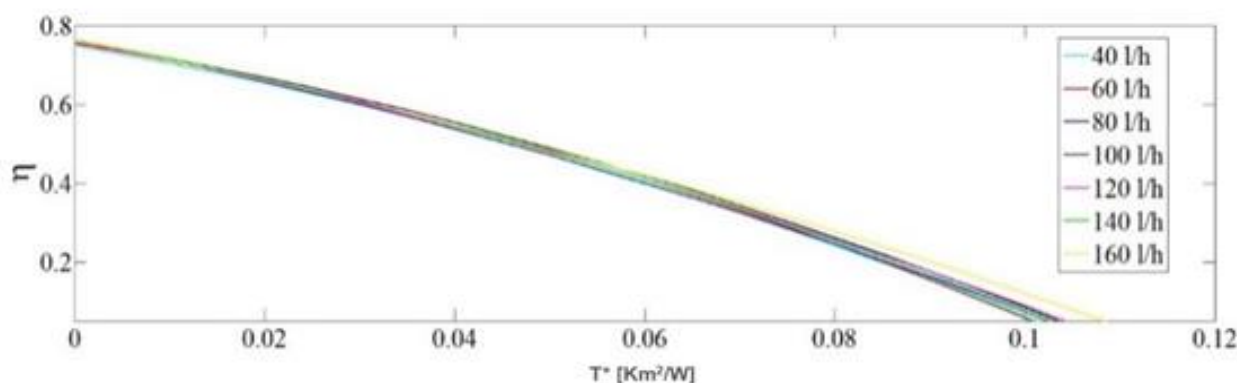


Figura 4.3. Curvas de rendimiento obtenidas para los distintos caudales de ensayo en captador tipo serpentín, para una radiación de 1.000 W/m²

En estas figuras, las diferencias observadas son siempre menores en el captador tipo serpentín, y, además, las diferencias crecen para ambos captadores conforme aumenta T^* . En este rango, para que T^* sea elevada, o bien existe baja radiación solar incidente o el captador está trabajando a altas temperaturas. Ambas situaciones conllevan que exista poca energía captada y reducen las prestaciones anuales de los sistemas.

No se observa un comportamiento sistemático para los distintos caudales, sobre todo en el caso del captador tipo parrilla, no disponiendo de datos que a priori puedan explicar este comportamiento. Al propagar la incertidumbre a cada ensayo las diferencias entre curvas quedarán cubiertas por los umbrales de incertidumbre, por lo que solo entonces se podrán obtener conclusiones, aunque incluso así, en las zonas cercanas al máximo rendimiento es difícil identificar qué caudal es el más recomendable y no existen resultados concluyentes.

Este fenómeno puede tener su origen en la no uniformidad de caudales por cada montante en el tipo parrilla, así como en su mayor contenido de accidentes hidráulicos que varían el tipo de régimen de flujo interno respecto del que es esperable teóricamente, creando dispersiones en los datos de ensayo.

4.2. Resultados de simulaciones anuales en Acsol 2.5

Tras efectuar las simulaciones anuales para cada caso de estudio, Acsol 2.5 nos devuelve los valores más significativos en cuanto al comportamiento energético de cada IST: fracción solar, rendimiento del sistema de captación, factor de utilización, horas de funcionamiento de la bomba circuladora del circuito primario y consumo energético de dicha bomba. Estos valores se reflejan en la Tabla 4.1.

La validez de los resultados obtenidos en las simulaciones de Acsol 2.5 se basan en el cálculo transitorio que ofrece TRNSYS, el cual está condicionado por los modelos energéticos de cada componente utilizado, así como por los ficheros meteorológicos y perfiles de demanda de ACS utilizados. Para la simulación del comportamiento del acumulador, con especial interés en el grado de estratificación, se utiliza un sistema multinodo, en concreto, el Type 534 de la librería TESS de TRNSYS.

Los datos meteorológicos se obtienen de la Agencia Andaluza de la Energía, (ficheros AMT-*), y la temperatura del agua fría de red son los que se encuentran tabulados para las capitales de provincia en [UNE 94002, 2005].

Por su parte, los datos de las curvas de rendimiento de los captadores solares son los que se han ensayado experimentalmente, una vez se ha propagado su incertidumbre de medida, mientras que los distintos valores y propiedades de los equipos proyectados en cada caso de estudio son los que aporta cada fabricante seleccionado.

Tabla 4.1. Resumen de valores obtenidos en cada simulación realizada en Acsol 2.5

IST Captador Caudal	Residencia de estudiantes				Edificio de Viviendas			
	Parrilla		Serpentín		Parrilla		Serpentín	
	20 l/(h·m²)	80 l/(h·m²)	20 l/(h·m²)	80 l/(h·m²)	20 l/(h·m²)	80 l/(h·m²)	20 l/(h·m²)	80 l/(h·m²)
Demanda ACS (kWh/año)	139.835,65	139.835,65	139.835,65	139.835,65	29.710,34	29.710,34	29.710,34	29.710,34
Fracción solar (%)	58,26	62,04	62,83	66,78	63,45	66,74	68,18	71,63
Energía solar útil (kWh/año)	84.908,31	91.861,82	91.679,63	98.998,48	21.808,60	23.711,78	23.535,09	25.570,90
R. captación (%)	36,97	39,69	39,90	42,75	33,53	35,84	36,09	38,55
F. utilización (%)	36,08	38,43	38,93	41,37	31,31	32,94	33,65	35,36
Perd. Calor primario (kWh/año)	1.225,32	1.598,55	1.367,65	1.774,10	1.564,35	1.961,07	1.743,75	2.181,67
Perd. Calor secundario (kWh/año)	202,24	276,07	225,22	304,72	395,59	522,00	439,52	577,99
Perd. Calor acumulación (kWh/año)	1.918,11	2.128,87	2.097,13	2.338,36	930,45	1.012,65	1.016,91	1.114,36
F. primario (h/año)	3.126,00	3.043,50	3.212,00	3.087,50	3.041,50	2.973,00	3.119,00	3.013,50
E.B primario (kWh/año)	198,28	1.835,23	203,71	1.861,76	57,79	169,25	59,26	171,56

La Fig. 4.4 y la Fig. 4.5 representan los valores de la fracción solar, rendimiento de captación y factor de utilización medios anuales para la instalación solar de la residencia de estudiantes y del edificio de viviendas, respectivamente.

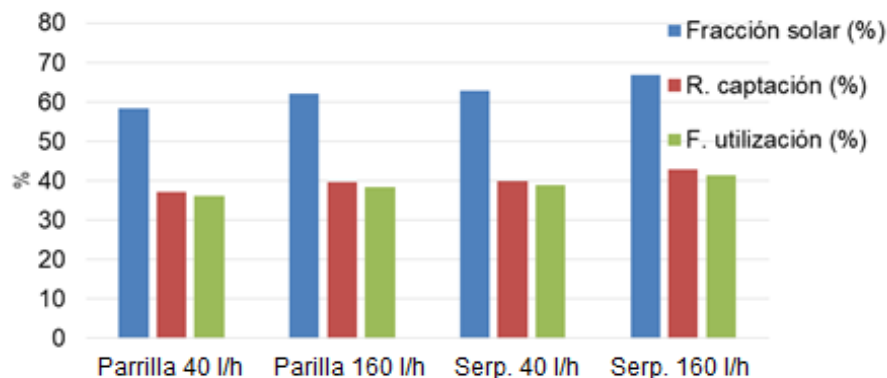


Figura 4.4. Valores medios anuales simulados para cada caso en la IST de la residencia de estudiantes

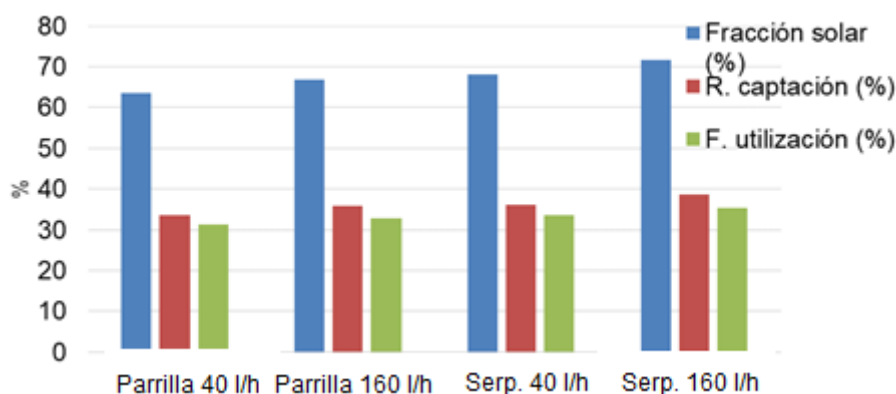


Figura 4.5. Valores medios anuales simulados para cada caso en la IST del edificio de viviendas

Como se comprueba en estas figuras, los mejores resultados energéticos se obtienen con captador tipo serpentín y con caudales altos, lo cual concuerda con [Duffie, 2006]. Sin embargo, las diferencias en cuanto a valores medios anuales obtenidos con cada combinación de caudal y tipo de captador no son significativas, si se estudian sus mejoras porcentuales.

Comparando las distintas opciones, se pueden obtener las mejoras obtenidas en dos escenarios:

- Fijar el tipo de captador y comprobar qué mejoras energéticas se obtienen al cambiar desde caudal bajo a caudal alto.
- Fijar el caudal y comprobar qué mejoras energéticas se obtienen al cambiar desde captador tipo parrilla a captador tipo serpentín.

Para la IST de la residencia de estudiantes, aumentar el caudal con captadores tipo parrilla consigue incrementar un 6,48 % la fracción solar anual y un 7,35 % el rendimiento de captación. Estos valores son del 6,28 % y del 7,98 % para el caso de que el captador sea tipo serpentín. Para el edificio de viviendas se obtienen valores algo inferiores, incrementando un 5,18 % la fracción solar y un 6,88 % el rendimiento de captación en el caso de aumento de caudal con captador tipo parrilla y de 5,06 % y 6,81 % en el caso de aumento de caudal con captador tipo serpentín.

Para el segundo criterio, en la residencia de estudiantes se obtiene una mejora del 7,84 % en la fracción solar anual y del 5,30 % en el rendimiento de captación cuando se

cambia a captadores tipo serpentín manteniendo bajo caudal. Si se hace la misma comparación, pero en condiciones de alto caudal, las mejoras obtenidas al cambiar el tipo de captador son del 7,64 % para la fracción solar y del 7,10 % para el rendimiento de captación. En el edificio de viviendas se obtiene una mejora del 7,45 % en la fracción solar y del 7,63 % en el rendimiento de captación al cambiar a tipo serpentín con bajo caudal, disminuyendo a mejoras del 7,32 % y del 7,56 % cuando se hace para condiciones de alto caudal.

Como se puede comprobar, en simulaciones anuales, cambiar el tipo de captador manteniendo el mismo caudal o cambiar el caudal manteniendo el mismo tipo de captador conlleva unas mejoras energéticas que en ningún caso superan el 8%.

Por otra parte, la Fig. 4.6 representa los valores de las horas de funcionamiento anuales de las bombas circuladoras del circuito primario para la residencia de estudiantes y para el edificio de viviendas, y es con caudales bajos con los que existen más horas de funcionamiento, independientemente del tipo de captador o de IST estudiada.

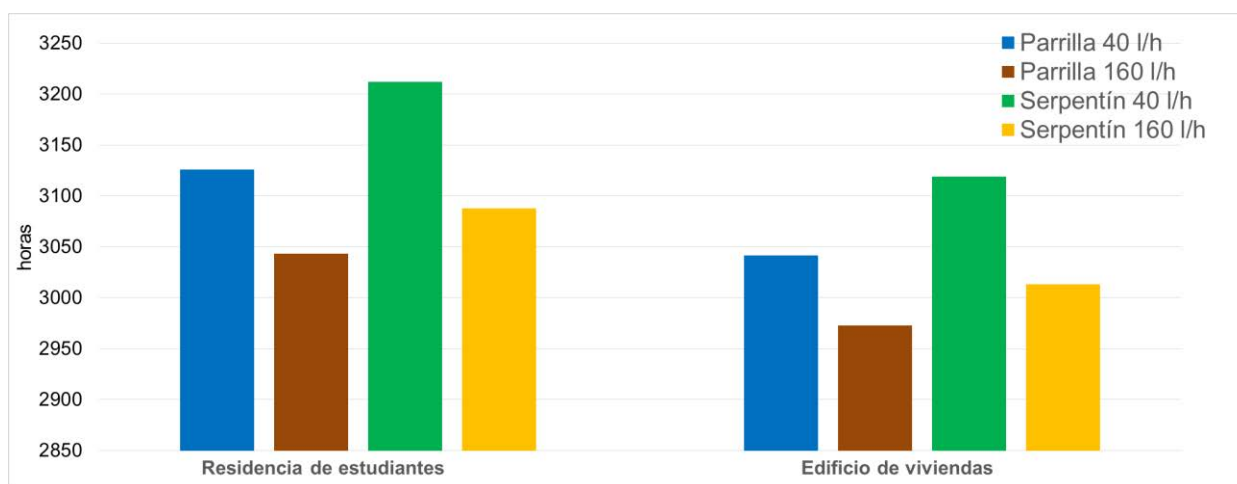


Figura 4.6. Horas de funcionamiento anuales obtenidas para cada tipo de IST simulada

Si se estudian los resultados en base mensual, se pueden obtener las diferencias y similitudes que existen entre los casos de estudio, para cada variable obtenida como indicativo del comportamiento de la IST durante un año.

La Fig. 4.7 compara los resultados mensuales de fracción solar para cada caso estudiado. Se observa cómo el mayor valor obtenido se sitúa en los meses estivales, comenzando por agosto. Si comparamos opciones, la fracción solar obtenida por los captadores tipo serpentín siempre supera a la de los captadores tipo parrilla, y, además, siempre es superior con caudales altos. Un detalle a tener en cuenta en el caso de la residencia de estudiantes es que en los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre se obtienen prácticamente los mismos valores de fracción solar para el captador tipo serpentín con bajo caudal y para el captador tipo parrilla con alto caudal, por lo que son 2 opciones a comparar en cuanto a retorno de la inversión, donde se podrá ponderar si la ganancia energética al trabajar con alto caudal y captador tipo serpentín es suficiente como para revertir el sobrecoste de funcionamiento e inversión inicial necesario, si se compara con la opción de parrilla y bajo caudal.

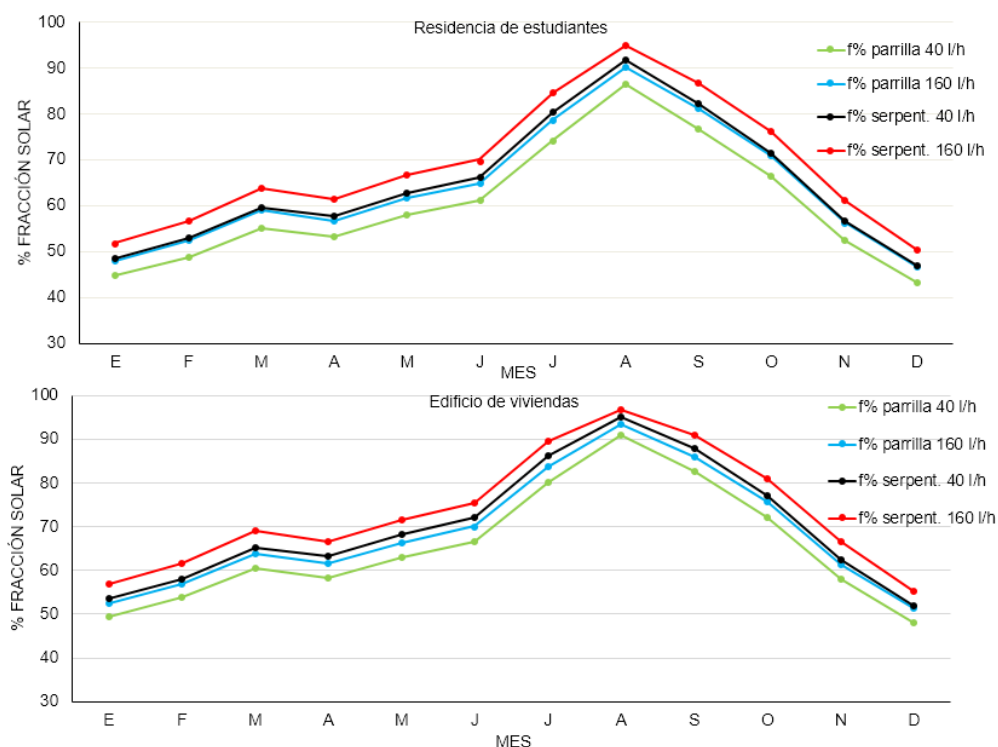


Figura 4.7. Valores de fracción solar mensual para cada caso simulado

La Fig. 4.8 compara los valores obtenidos para el rendimiento del sistema de captación mes a mes de cada caso simulado, donde se puede comprobar que existen bastantes similitudes entre los resultados de las combinaciones de captador serpentín-caudal bajo y captador parrilla-caudal alto. Si se compara mensualmente el factor de utilización, como se muestra en la Fig. 4.9, la conclusión obtenida es que, en ambas IST, existen variaciones similares, sobre todo en los meses invernales, obteniendo los mejores resultados con caudales altos y captadores tipo serpentín.

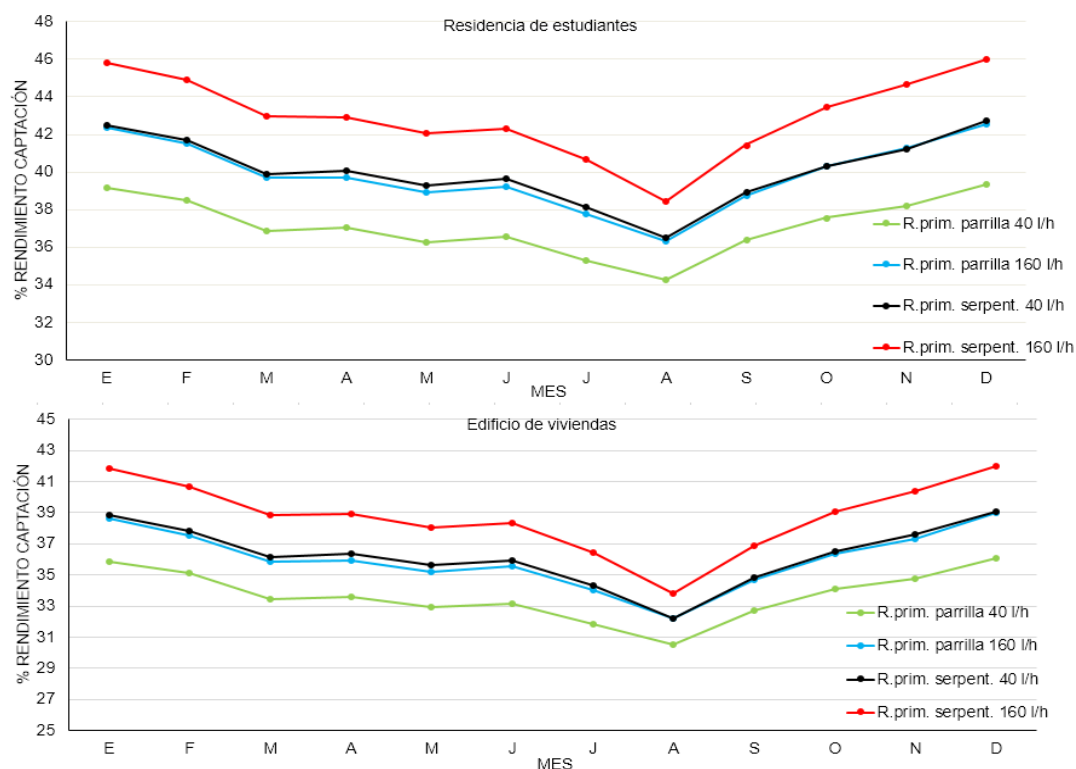


Figura 4.8. Valores de rendimiento de captación mensual para cada caso simulado

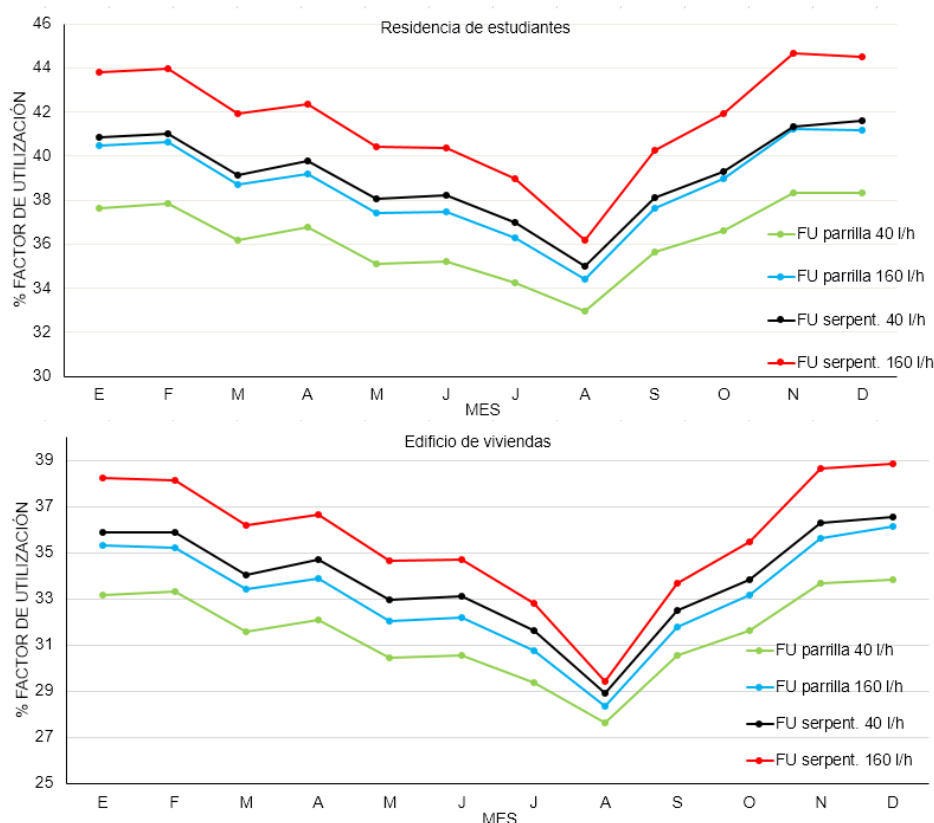


Figura 4.9. Valores de factor de utilización mensual para cada caso simulado

Finalmente, otro punto a comparar entre los casos simulados es el comportamiento térmico de cada opción, en cuanto a pérdidas de calor y eficiencias de intercambio en el intercambiador. Analizando los resultados anuales de la Tabla 4.1, puede observarse cómo las pérdidas de calor de acumulación son las más importantes en el caso de la residencia de estudiantes, seguidas por las del circuito primario. Sin embargo, para el caso del edificio de viviendas, las pérdidas del circuito primario son mayores a las de acumulación.

En cuanto a lo que ocurre con el intercambio térmico, la pauta general es que, dependiendo de la DTLM, (fijada para la selección de cada intercambiador imponiendo los saltos térmicos de la Fig. 3.32), y el caudal de diseño, se obtengan distintas eficiencias de intercambio, como ya se mostró en la Tabla 3.16. La diferencia entre opciones es clara: con bajo caudal se obtienen eficiencias de intercambio que casi duplican a las obtenidas con alto caudal.

Además de estos resultados, se puede concluir que en ambas IST con bajo caudal se obtienen menores pérdidas energéticas. Los flujos energéticos, las distintas pérdidas, así como los aprovechamientos de la IST y del sistema auxiliar se representan a modo de ejemplo en la Fig. 4.10, para el caso de la residencia de estudiantes, captadores tipo parrilla y 20 l/(hm²). Las pérdidas de mayor valor se dan en el propio sistema de captación, mientras que las pérdidas térmicas en tuberías son prácticamente despreciables si se comparan con las pérdidas ópticas o por transmisión.

Debido a que Acsol 2.5 realiza un cálculo en TRNSYS mediante un sistema no lineal, (aplicando el método de Newton), la simulación tiene una tolerancia en cuanto a los valores de temperaturas y caudales con los que se opera en cada paso de tiempo del proceso de iteración, hasta encontrar la mejor solución final. Esto hace que existan pequeños descuadres al comprobar cómo cierran los balances en términos de energía

Hay que indicar que en ningún caso de los simulados se superan los 110 °C en captadores, evitando así el riesgo de estancamiento. Esta comprobación es interesante en la zona climática de estudio, ya que es común encontrar IST sobredimensionadas en cuanto a superficie de captación, con objeto de aumentar la fracción solar anual, lo que conlleva a sufrir estancamiento en los meses estivales. Esto no solo es perjudicial para la propia IST sino que invalidaría los resultados de las simulaciones, y por tanto, de las conclusiones ofrecidas.

Con todos estos resultados, se puede realizar un estudio económico que identifique las opciones más favorables en cada caso de estudio.

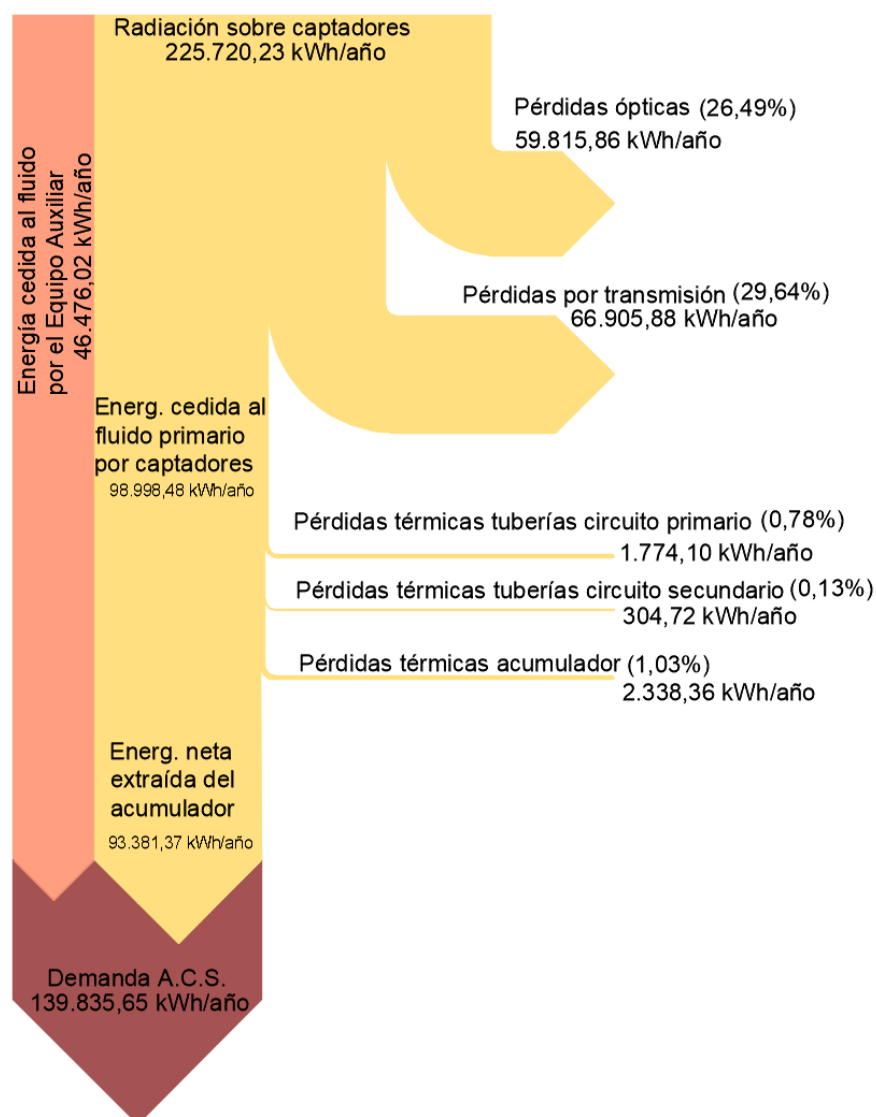


Figura 4.10. Diagrama de Sankey con flujos de energía para el caso de la residencia de estudiantes, captadores tipo parrilla y caudal bajo

4.3. Estudio económico. Costes y retorno de la inversión para cada tipo de sistema seleccionado

Para realizar una comparativa y obtener la combinación de tipo de captador y caudal más recomendable en cada instalación estudiada, es necesario estimar previamente los

costes iniciales y de operación de cada caso, y comprobar si se obtienen las mismas diferencias en función del tipo de IST simulada, comprobando así si el tamaño de la IST también influye en el sistema a elegir.

Los costes iniciales son los que engloban a todos los equipos y trabajos de instalación necesarios para que todos los sistemas queden preparados para su funcionamiento. Se recogen en las Tablas 4.2 y 4.3. La Fig. 4.11 muestra un comparativo con los desgloses de costes por sistemas para cada caso de la residencia de estudiantes, mientras que la Fig. 4.12 lo hace para cada caso del edificio de viviendas.

Los precios utilizados para la estimación económica son los que actualmente aparecen en las tarifas de los distintos proveedores de la industria solar, por lo que su validez se limita al ejercicio 2019 y además son precios de venta al público, sin descuentos profesionales. Los costes de mano de obra y pequeño material ya se encuentran incluidos en las partidas de cada sistema de las IST simuladas.

Como se observa, las partidas que mayor peso tienen en los costes iniciales son los captadores y su estructura de soportación seguidos de la acumulación. Dependiendo del tamaño de la IST los porcentajes de cada partida varían: a mayor superficie de captación mayor peso adquiere el coste de acumulación y menor el de intercambio, y viceversa.

El coste de tuberías, aislamientos, accesorios hidráulicos, control y bombeo adquiere bastante peso cuando el caudal sube de 40 l/(hm²) a 80 l/(hm²), demostrando la importancia que tiene el caudal de diseño. Los captadores tipo serpentín y los caudales altos son las opciones más costosas, ya que por una parte, conllevan un precio de mercado de captadores algo más elevado que en la opción parrilla, y además, todos los sistemas que dependen del diámetro nominal de tuberías son también más caros, como son la propia tubería, los aislamientos, la valvulería de corte y de equilibrado, el sistema de bombeo y el vaso de expansión, (incluyendo también, para IST de grandes superficies de captación y en climas fríos, un coste extra debido a la cantidad de fluido de trabajo glicolado a añadir, conforme aumentamos diámetro de tuberías).

Tabla 4.2. Resumen de costes iniciales para cada caso simulado en la residencia de estudiantes

IST Caudal Captadores Valor	Residencia de estudiantes							
	Bajo				Alto			
	Parrilla	Serpentín	Parrilla	Serpentín	Parrilla	Serpentín	Parrilla	Serpentín
	€	% del total	€	% del total	€	% del total	€	% del total
Tub. y aislam.	7.284	10,75	7.284	9,88	13.804	18,14	13.804	16,81
Valv. general	230	0,33	230	0,31	498	0,65	498	0,60
Valv. equilibrado	1.230	1,81	1.230	1,66	1.660	2,18	1.660	2,02
Intercambio	793	1,17	793	1,07	1.115	1,46	1.115	1,35
Acumulación	24.530	36,22	24.530	33,27	24.530	32,23	24.530	29,88
Vaso Expans.	1.550	2,28	1.550	2,10	1.865	2,45	1.865	2,27
Captadores	22.800	33,67	28.800	39,06	22.800	29,96	28.800	35,08
Estructuras	7.500	11,07	7.500	10,17	7.500	9,85	7.500	9,13
Bombas	983	1,45	983	1,33	1.505	1,97	1.505	1,83
Control	815	1,20	815	1,10	815	1,07	815	0,99
Total	67.715		73.715		76.092		82.092	

Tabla 4.3. Resumen de costes iniciales para cada caso simulado en el edificio de viviendas

IST Caudal Captadores Valor	Edificio de viviendas							
	Bajo				Alto			
	Parrilla		Serpentín		Parrilla		Serpentín	
	€	% del total	€	% del total	€	% del total	€	% del total
Tub. y aislam.	1.248	8,18	1.248	7,43	1.954	11,45	1.954	10,50
Valv. general	89	0,58	89	0,53	285	1,67	285	1,53
Valv. equilibrado	375	2,45	375	2,23	440	2,57	440	2,36
Intercambio	693	4,54	693	4,13	1.088	6,37	1.088	5,84
Acumulación	3.709	24,32	3.709	22,10	3.709	21,73	3.709	19,94
Vaso Expans.	247	1,62	247	1,47	411	2,40	411	2,20
Captadores	5.826	38,20	7.360	43,85	5.826	34,14	7.360	39,57
Estructuras	1.916	12,56	1.916	11,41	1.916	11,22	1.916	10,30
Bombas	598	3,92	598	3,56	888	5,20	888	4,77
Control	548	3,59	548	3,26	548	3,21	548	2,94
Total	15.249		16.783		17.065		18.599	

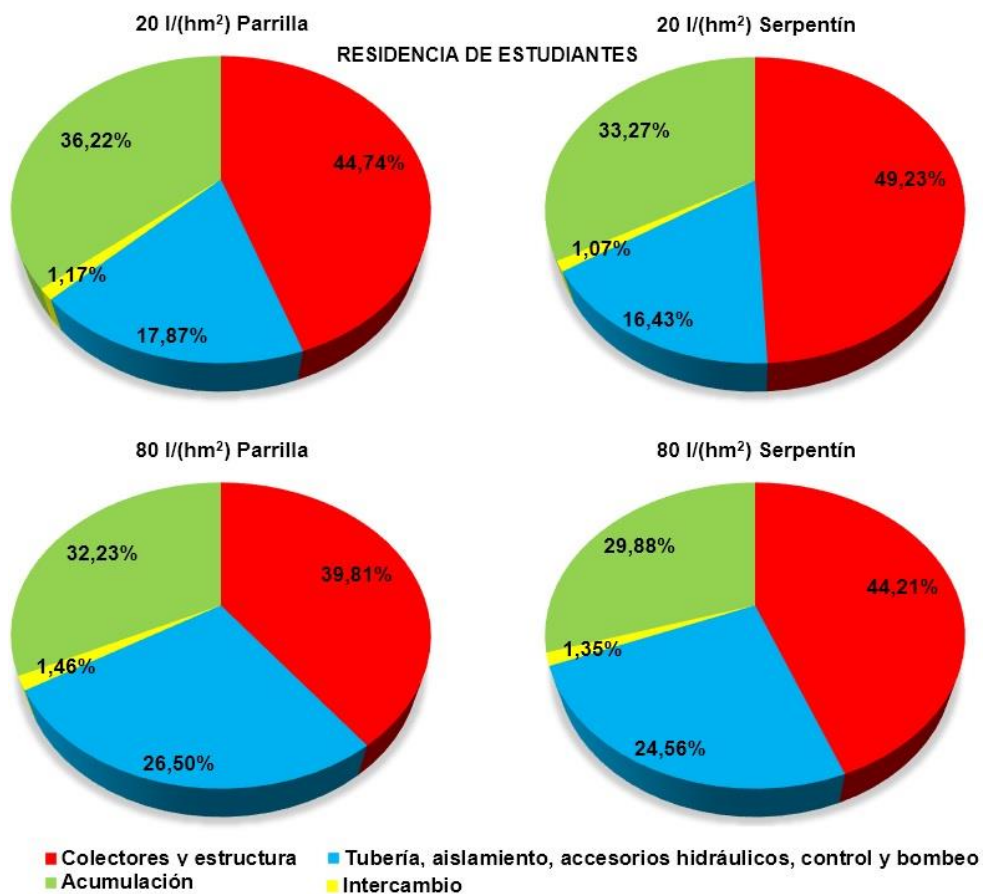


Figura 4.11. Desglose de costes por sistema para cada combinación de caudal y tipo de captador en la residencia de estudiantes

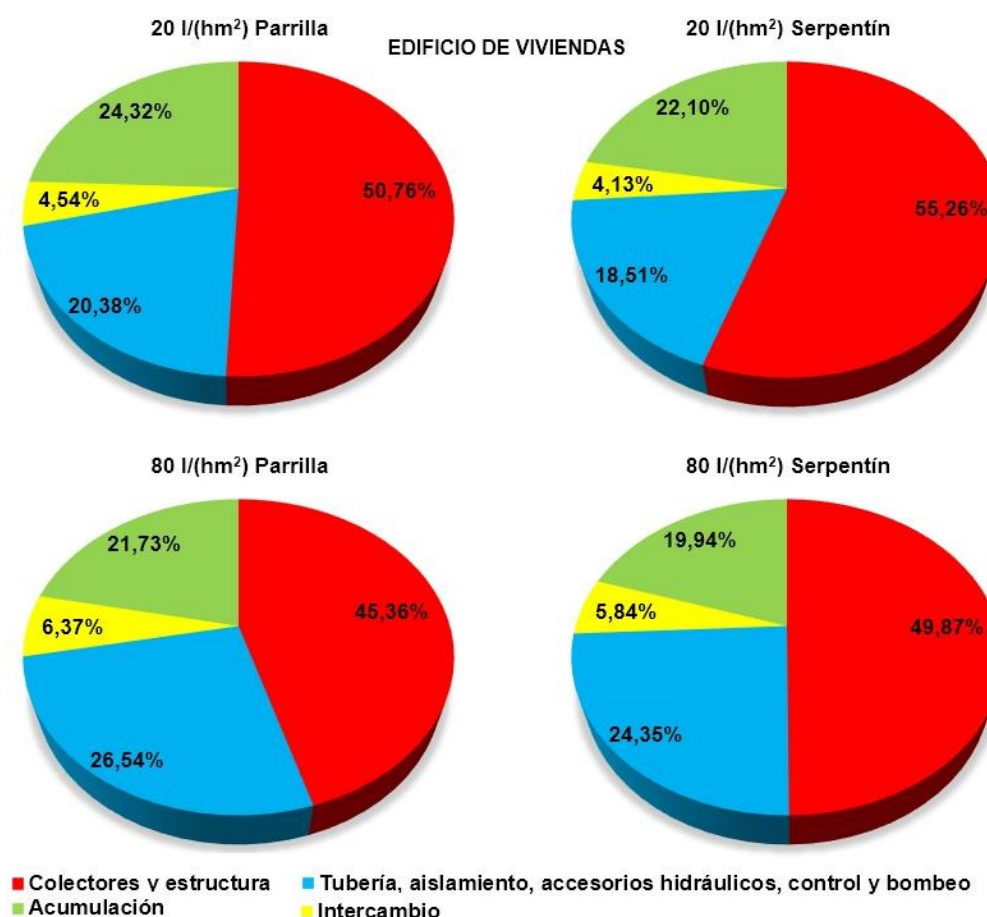


Figura 4.12. Desglose de costes por sistema para cada combinación de caudal y tipo de captador en el edificio de viviendas

Los costes de instalación también suben ligeramente para sistemas con mayor diámetro de tubería, ya que las uniones soldadas precisan de mayor cantidad de material de aporte para la soldadura fuerte y por tanto aumenta también el tiempo de montaje requerido. En cuanto a la ventaja teórica de posibilitar el intercambio térmico utilizando equipos más pequeños en los casos simulados con alto caudal, se puede comprobar que no afecta en gran medida, ya que la partida de intercambiadores tiene poco peso en el coste total, y además, existe un límite de tamaño mínimo del equipo y el fabricante suele jugar con el número de placas a instalar para obtener las distintas áreas de intercambio necesarias para cada caso.

Si se analizan las diferencias de costes se pueden obtener las diferencias entre el tipo de captador elegido o el caudal de diseño. Para el caso de la residencia de estudiantes, instalar captadores tipo serpentín supone un incremento de coste de entre un 7,88 % y un 8,86 % respecto al coste con captadores tipo parrilla, en el caso de alto caudal y bajo caudal respectivamente. En el caso del edificio de viviendas este sobre coste es de un 8,98 % para alto caudal y de un 10,06 % para bajo caudal.

En la residencia de estudiantes, trabajar con un caudal específico de 80 l/(hm²) supone un incremento de coste respecto a hacerlo con 20 l/(hm²) de entre un 11,36 % y un 12,37 %, para el caso de captadores tipo serpentín y tipo parrilla, respectivamente. Para el caso del edificio de viviendas este sobrecoste es de un 10,82 % en el caso de captadores tipo serpentín y de un 11,90 % en el caso de captadores tipo parrilla.

Sin embargo, los costes iniciales no son los únicos que entran en juego a la hora de evaluar la opción más rentable de una IST, ya que el estudio debe hacerse a lo largo de

la vida útil de la misma, la cual suele estimarse para al menos 20 años, entrando a formar parte en este cálculo los costes de operación y de mantenimiento, donde juega un papel importante el consumo energético por bombeo.

El coste de bombeo considerado en este estudio se limita al circuito primario, y depende tanto de las horas de funcionamiento del sistema como de la potencia instalada de bombeo. Las horas de funcionamiento de cada IST simulada se obtienen de Acsol 2.5, y dependen de cuántas veces a lo largo del año se den las condiciones necesarias para que el circuito primario funcione. Esto queda controlado por múltiples factores, como son la ubicación de la instalación, (radiación solar), el tipo de IST, (perfil diario y mensual de demanda de ACS), y el sistema instalado, (grado de estratificación obtenido en acumulación, eficiencia de intercambio térmico, pérdidas de calor globales, etc).

La Tabla 4.1 muestra los valores de consumos anuales por bombeo en cada opción simulada, mientras que la Fig. 4.13 los representa mensualmente, a partir de los datos obtenidos de Acsol 2.5. Como se puede apreciar, en ambas IST al optar por caudales bajos se tienen unos consumos energéticos significativamente menores, independientemente del tipo de captador seleccionado. Para obtener las mejores opciones de forma definitiva, bastará con realizar un cálculo económico en el que se comparen la inversión inicial y los costes anuales de operación frente al ahorro energético obtenido en cada caso, definido por la fracción solar o por el calor útil obtenido.

Para estimar un coste económico real para el consumo energético de bombeo se ha optado por utilizar el PVPC, *Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor*, el cual puede obtenerse en tiempo real desde la web de Red Eléctrica Española, REE, en: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/precio-voluntario-pequeno-consumidor-pvpc>. Este suele oscilar durante todo el año sobre los 0,12 €/kWh, que una vez se le añaden los costes por término de potencia y los distintos cánones de servicios de las compañías comercializadoras puede fijarse en 0,20 €/kWh.

De cara a simplificar el estudio no se han considerado factores financieros adicionales como la subida del IPC o el coste del dinero. Estos factores financieros, no obstante, serían en todo caso equivalentes para cada IST, independientemente del caudal y tipo de absorbedor seleccionado. Es decir, el tipo de financiación seleccionada no debería cambiar las conclusiones obtenidas, aunque se debería tener en cuenta junto con otros indicadores económicos si se desea realizar una estimación más realista de los períodos de amortización para cada caso estudiado.

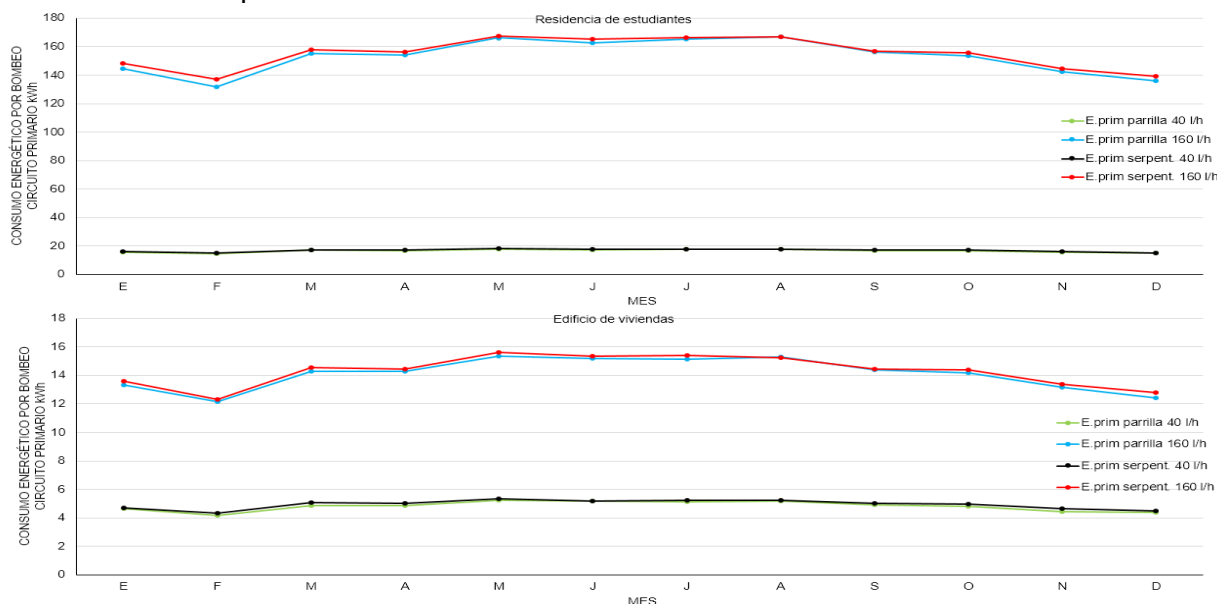


Figura 4.13. Demanda energética mensual para cada tipo de IST simulada

Finalmente, una vez se realizan estas comparativas y se representan temporalmente, a modo de retorno de inversión, la opción más recomendable será aquella que permita obtener beneficios en el menor tiempo posible, o lo que es lo mismo, aquella que haga amortizar antes la inversión. Los valores para las estimaciones de amortización se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resumen de costes de amortización para cada caso simulado

IST Captador Caudal	Residencia de estudiantes			
	20 l/(hm ²)	Parrilla 80 l/(hm ²)	Serpentín 20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)
Coste Inicial (€)	67.715	76.092	73.715	82.092
Fracción solar f (%)	58,26	62,04	62,83	66,78
D _{ACS} (kWh/año)		139.835,65		
Coste D _{ACS} (€/año)		27.967,13		
E _{solar} (kWh/año)	84.908,31	91.861,82	91.679,63	98.998,48
Coste E _{solar} (€/año)	16.981,66	18.372,36	18.335,92	19.799,79
E _{bomb} (kWh/año)	198,28	1.835,23	203,71	1.861,76
Coste E _{bomb} (€/año)	39,65	367,04	40,74	372,35
Ahorro neto (€/año)	16.942,01	18.005,32	18.295,18	19.427,34
Amortización	4 años	4 años y 2 meses	4 años	4 años y 2 meses

IST Captador Caudal	Edificio de viviendas			
	20 l/(hm ²)	Parrilla 80 l/(hm ²)	Serpentín 20 l/(hm ²)	80 l/(hm ²)
Coste Inicial (€)	15.249	17.065	16.783	18.599
Fracción solar f (%)	63,45	66,74	68,18	71,63
D _{ACS} (kWh/año)		29.710,34		
Coste D _{ACS} (€/año)		5.942,06		
E _{solar} (kWh/año)	21.808,60	23.711,78	23.535,09	25.570,90
Coste E _{solar} (€/año)	4.361,72	4.742,35	4.707,01	5.114,18
E _{bomb} (kWh/año)	57,79	169,25	59,26	171,56
Coste E _{bomb} (€/año)	11,55	33,85	11,85	34,31
Ahorro neto (€/año)	4.350,17	4.708,50	4.695,16	5.079,87
Amortización (años)	3 años y 6 meses	3 años y 7 meses	3 años y 6 meses	3 años y 7 meses

Estos valores indican que para ambas instalaciones es recomendable un caudal bajo sobre uno alto, ya que de este modo se reducen los plazos de amortización ligeramente, aunque las diferencias en todos los casos no son significativas. En los 8 supuestos, se obtienen plazos de amortización muy similares, por lo que las diferencias existentes entre costes iniciales y energía útil producida se compensa. La elección de un caudal sobre otro vendría impuesta sobre todo por consideraciones adicionales, como la cantidad de fluido solar a incorporar en cada revisión de mantenimiento, o incluso, la energía incorporada, “*embodied energy*”, la cual es bastante mayor en los sistemas de alto caudal, debido a que aumenta la masa de cobre a instalar.

Para decantarse, dentro del bajo caudal, por la instalación de captadores tipo parrilla o tipo serpentín podemos recurrir a estimar en qué periodo de tiempo se amortizaría la diferencia entre costes iniciales en base a la diferencia existente entre fracciones solares. Es decir, se trataría de obtener el plazo en el que se recuperaría el sobre coste de instalación de las opciones con captadores tipo serpentín gracias a la mayor producción energética que estos captadores ofrecen frente a la opción de instalar captadores tipo parrilla.

Para realizar esta pequeña operación se realizará el ejemplo con la IST de la residencia de estudiantes, mostrado en la Tabla 4.5. El proceso seguido comienza obteniendo la diferencia de fracciones solares entre los casos simulados con bajo caudal. A continuación, se obtiene el ahorro económico que supone obtener una fracción solar anual superior.

Se realiza lo mismo con el gasto debido al consumo energético de bombas, aunque se da la particularidad de que son muy parecidos, ya que no se han obtenido puntos de

trabajo distintos para cada tipo de captador por no disponer de datos oficiales del fabricante. Si obtenemos la resultante de restarle a la diferencia de ahorro energético la diferencia de consumo por bomba: $1.278,09 - 1,09 = 1.277$ €/año, solo quedaría obtener la diferencia entre costes iniciales y calcular en cuánto tiempo se amortizaría: $6.000/1.277 = 4$ años y 8 meses.

Tabla 4.5. Resumen de estudio comparativo de amortizaciones entre parrilla y serpentín, con bajo caudal, para caso de residencia de estudiantes

Concepto	Parrilla	Serpentín	Diferencia
Fracción solar	58,26%	62,83 %	4,57 %
Costes iniciales	67.715 €	73.715 €	6.000 €
Ahorro económico ACS	1.278,09 €/año con opción serpentín frente a parrilla		
Ahorro económico bombeo	1,09 €/año con opción parrilla frente a serpentín		
Ahorro económico neto	1.277 €/año con opción serpentín frente a parrilla		
Tiempo amortización	4 años y 8 meses		

Por lo tanto, la opción de instalar captadores tipo serpentín frente a tipo parrilla parece razonable, siempre y cuando el ahorro por consumo de bombas no sea muy superior al estimado. En el caso simulado, el periodo en el que se amortiza la diferencia de inversión entre la opción serpentín y parrilla coincide con el periodo de amortización de la propia instalación solar.

Para el caso de la IST del edificio de viviendas, y debido a que los costes están más ajustados, esta misma operación devuelve un periodo de amortización de 5 años y 5 meses, por lo que tardaría más en retornar la diferencia de costes entre tipo de captadores que el de la propia inversión inicial, aunque seguiría siendo una buena recomendación, sobre todo por la garantía de que en los captadores tipo serpentín es más difícil que se creen malas distribuciones de flujo, ya que solo tienen una dirección de flujo interno posible.

Si esta operación se realizase para comparar cualquier opción de bajo caudal frente a la de alto caudal, para amortizar la diferencia de coste inicial gracias a la diferencia de ahorro energético, el periodo de retorno necesario crecería por encima de los 14 años en ambas IST, lo cual, como es lógico, se desaconsejaría.

Por lo tanto, la comparación de caudales o de configuraciones hidráulicas realizadas no es concluyente, no pudiéndose cuantificar las mejoras obtenidas al aumentar el caudal o al utilizar captadores tipo serpentín en lugar de tipo parrilla. Este hecho refuerza la idea principal en la que debería basarse el diseño de cualquier sistema solar térmico: simplificar la instalación todo lo posible mientras se garantice un caudal mínimo que no provoque situaciones de estancamiento ni desequilibrios hidráulicos.

Como toda fuente energética renovable, se debería buscar maximizar el calor solar útil, pero garantizando siempre el menor consumo energético posible de fuentes no renovables. Bajo esta premisa, no solo se aconseja instalar caudales bajos, sino que además se deberían preferir sistemas de circulación natural, (compactos termosifón), en todas las ocasiones que, por perfil de consumo y localización geográfica, fuera posible su instalación, lo cual, a la vista del mercado solar térmico actual en el sur de España, no se está realizando.

5. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO

5.1. Conclusiones principales obtenidas. Aportaciones

Las conclusiones obtenidas combinan dos factores de estudio: la importancia del caudal primario y las diferencias entre captador tipo parrilla y tipo serpentín. Si se analizan las diferencias que producen ambos factores en el comportamiento de una IST, se pueden obtener 2 aportaciones concluyentes:

- El sobrecoste existente al seleccionar alto caudal frente a bajo caudal precisa periodos de amortización cercanos a 14 años para los 2 tipos de IST simulados, independientemente de la configuración hidráulica del captador elegido. Es decir, si se quiere amortizar la diferencia de costes con la mayor contribución solar obtenida para alto caudal, el plazo necesario es demasiado elevado.
- El sobrecoste de instalar captadores tipo serpentín frente a captadores tipo parrilla se amortizaría en aproximadamente 5 años para los 2 tipos de IST simulados. En este caso, el plazo no es muy elevado, por lo que sí es una elección recomendada, pero la comparación en cuanto a ventajas e inconvenientes en el mantenimiento y vida útil de los 2 tipos de captador estudiados los hacen similares. No hay una elección clara entre ambas.

Con estas aportaciones, se debería promover un caudal de diseño bajo a la hora de dimensionar IST para preparación de ACS. Además, esta opción sería la que menor energía incorporada tiene, ya que reduce los consumos energéticos asociados al bombeo y a los materiales necesarios en las tuberías, aislamientos, etc.

A continuación, se analizan cada una de las conclusiones principales obtenidas.

5.1.1. La importancia del caudal del circuito primario

Tras los resultados obtenidos en los ensayos y en las simulaciones, se puede concluir que el caudal primario seleccionado en una IST para preparación de ACS tiene una importancia destacable en el tiempo de amortización de la IST en estudio. Esto no se debe a la mayor o menor producción energética obtenida con los distintos caudales estudiados, si no al sobrecoste que supone trabajar con caudales elevados.

Este aumento de coste resulta de combinar los costes iniciales de la IST y los costes de operación durante su funcionamiento, encabezados por el consumo energético de bombeo en el circuito primario.

El beneficio energético que se obtendría al aumentar el caudal del circuito primario se debería sobre todo al aumento del rendimiento del sistema de captación. Las simulaciones anuales con los distintos caudales estudiados deben hacerse siempre después de propagar las incertidumbres de ensayo hacia los valores de las curvas de rendimiento obtenidas. En tal caso, los resultados no son concluyentes para todo el rango de T^* donde operan los captadores: solo se pueden identificar situaciones en las que un caudal es recomendable en las zonas cercanas al máximo rendimiento. Para valores de T^* alejados de 0, y analizando únicamente el rendimiento térmico del

captador, trabajar con $20 \text{ l}/(\text{hm}^2)$ produciría los mismos resultados que hacerlo con $80 \text{ l}/(\text{hm}^2)$.

Las IST destinadas a preparación de ACS se amortizan antes con caudales bajos, ya que su peor comportamiento energético, se ve recompensado por el valor de la diferencia de costes iniciales, que depende directamente del caudal. De este modo, aunque los mejores resultados anuales se consigan con captadores tipo serpentín y caudales específicos de $80 \text{ l}/(\text{hm}^2)$, al estudiar los periodos de amortización debemos decantarnos por captadores tipo parrilla y caudales de $20 \text{ l}/(\text{hm}^2)$. Este punto resalta la importancia que llega a tener el consumo energético asociado a bombeo en el circuito primario, y el sobrecoste inicial en tuberías, aislamientos y sistema de bombeo.

5.1.2. Diferencias de funcionamiento debidas a la configuración hidráulica del absorbedor

Puede concluirse que la configuración hidráulica del absorbedor elegida solo tiene un efecto cuantificable si se compara el rendimiento térmico en la zona cercana al rendimiento óptico. Aquí, el captador tipo serpentín ofrece mejor rendimiento que el tipo parrilla. Si se alcanzan valores de T^* superiores a $0,06 \text{ Km}^2/\text{W}$ no hay un resultado concluyente, ya que las bandas de incertidumbre se cruzan. En esta zona de trabajo de los captadores se obtendrían iguales resultados con las 2 configuraciones hidráulicas, siempre que trabajaran con el mismo caudal.

Al simular el funcionamiento de cada tipo de captador en una IST determinada, el captador tipo parrilla ofrecería una ventaja al tener menores pérdidas de carga hidráulica que el tipo serpentín, para igual caudal. Sin embargo, el captador tipo serpentín garantiza un buen funcionamiento con caudales mínimos, siempre menores a los que tendría el tipo parrilla.

Combinando ambas conclusiones, se refuerza la importancia de la incertidumbre de medida, ya que las diferencias de rendimiento obtenidas entre caudales de operación y configuraciones hidráulicas son mínimas, debiendo seleccionarse la combinación más recomendable debido a otros factores: periodo de amortización y reducción de desequilibrios hidráulicos.

Las diferencias principales de funcionamiento con los 2 tipos de configuración hidráulica estudiados se resumen en que la configuración hidráulica tipo serpentín aventaja al diseño tipo parrilla ya que existe menor probabilidad de producir puntos calientes. Estos se localizarían en aquellas zonas con bajo caudal debido al desequilibrio hidráulico, el cual depende del caudal circulante. Por este motivo, los captadores de tipo serpentín suelen tener mejor comportamiento cuando las condiciones se acercan a zona de estancamiento y, además, permiten trabajar con caudales más bajos que instalando configuraciones tipo parrilla.

5.1.3. Validez del método de ensayo estacionario para la comparación de captadores

Además de las aportaciones ya comentadas, el trabajo realizado ha servido para analizar la utilidad de la norma de ensayo de rendimiento térmico mediante el método SST. La existencia de un procedimiento que fije unos valores mínimos de rendimiento es totalmente necesaria, pero los resultados demuestran que el comportamiento energético derivado de los ensayos tipo SST, por sí solo, no determina el resultado esperable al incorporar los captadores en una IST. No se pueden obtener resultados

concluyentes comparando captadores únicamente en base a sus 3 coeficientes característicos de la curva de ensayo, ya que las curvas de ambos captadores pueden cruzarse para algunas condiciones de trabajo, determinadas por el valor de T^* .

Además, la norma establece que, mientras el fabricante no proponga un caudal específico, los ensayos se realizarán con un flujo másico de $0,02 \text{ kg}/(\text{s m}^2)$. Al realizarse el ensayo con un único caudal, no se ofrecen datos que permitan evaluar el caudal mínimo con el que un modelo de captador puede trabajar, garantizando que no existen condiciones de desequilibrio hidráulico ni de vaporización de fluido.

Las curvas de ensayos obtenidas muestran que existe una clara dependencia con la estrategia de selección de datos efectuada, proceso previo al análisis MLR. No se ha podido comprobar si los laboratorios homologados para ensayar captadores disponen de un procedimiento que fije la forma de proceder en la selección de períodos de registro válidos. Sin este procedimiento de selección de datos común, no se puede garantizar que un modelo de captador obtenga la misma curva de rendimiento térmico en distintos laboratorios de ensayo homologados. De esta forma se reduciría la utilidad de los ensayos, más allá de servir como certificación de un rendimiento mínimo de los equipos homologados.

Como aportación final, y refiriéndonos a cómo afecta el caudal circulante en los resultados de ensayo, una vez se propagan las incertidumbres, las diferencias existentes no son significativas en el rango de caudales ensayados. Se puede concluir que, aplicando el método SST de [EN12975, 2006], solo podemos evaluar el impacto que causa en la eficiencia de captación aumentar el caudal desde los $20 \text{ l}/(\text{hm}^2)$ hasta los $80 \text{ l}/(\text{hm}^2)$, siempre y cuando nos ciñamos a zonas cercanas a $T^*=0$. Al alejarnos de esta zona, no existen resultados concluyentes que permitan recomendar un caudal sobre otro.

5.2. Otras aportaciones

Además de las conclusiones principales, el estudio realizado permite obtener información sobre otros aspectos del funcionamiento de las IST donde el caudal del circuito primario tiene gran importancia. Se muestran a continuación.

5.2.1. Determinación de caudales óptimos para IST de preparación de ACS

A la hora de proponer un caudal óptimo para una IST en particular, se debe prestar atención a que los indicadores obtenidos en las simulaciones anuales de comportamiento energético, como fracción solar, factor de utilización y rendimiento de captación, no evalúan solo al campo de captadores. Estos valores estiman el comportamiento energético global de la IST en base a todos los componentes, y a su interacción durante las distintas condiciones climáticas y de consumo, presentes durante todo el año.

Como términos dependientes del caudal, el grado de estratificación conseguida en el acumulador es el factor que más influye en los resultados anuales, seguido por las pérdidas térmicas en tuberías y la eficiencia de intercambio. Estos últimos factores suelen estar controlados por la normativa aplicable, para garantizar una eficiencia mínima o limitar las pérdidas energéticas, [RITE, 2013].

Por lo tanto, para elegir el caudal óptimo en una IST, antes se debería conocer aquel caudal mínimo que, además de minimizar la inversión inicial y reducir los costes anuales por bombeo, no provocara alteraciones en las condiciones de régimen de flujo interno en captadores. Debería seleccionarse un caudal bajo, pero lo suficientemente elevado

como para hacer que el coeficiente de convección térmica entre tubería y fluido, h_{fi} , no fuera un factor controlante en el mecanismo de transferencia de calor. Para ello, se deben realizar ensayos de rendimiento a distintos caudales o, al menos, disponer de recomendaciones por parte del fabricante del captador. Como ya se ha indicado anteriormente, la configuración hidráulica tipo serpentín aventaja al diseño tipo parrilla en cuanto a la capacidad de trabajar con caudales menores.

5.2.2 Idoneidad de trabajar con caudal variable en el circuito primario según el uso de la IST

Tras los resultados de los ensayos realizados para distintos caudales, y la posterior simulación energética de 2 IST para calentamiento de ACS, surge la duda de si realmente supone una ventaja incorporar bombas con control de velocidad.

La tecnología de control electrónico supone una clara ventaja ya que ofrece eficiencias de bombeo superiores, y por tanto, reduce los consumos energéticos asociados al bombeo. Sin embargo, la incógnita que se presenta es si realmente existe una ventaja adicional, al poder trabajar con distintos caudales en función de las situaciones a las que tenga que hacer frente el sistema.

A raíz de los resultados, la respuesta sería que únicamente tendría utilidad funcionar con caudal variable si la IST, por necesidades de consumo, precisa disponer de un salto térmico fijo en captadores. Estrategia típica para grandes IST, destinadas a redes de distrito, las cuales tienen amplia implantación en el norte de Europa. Para el caso de calentamiento de ACS, incorporar una tecnología que controle el caudal no parece tener sentido, como indican los siguientes puntos:

- La tecnología EC, por sí sola, no elige el caudal de operación de la bomba, ya que debe recibir una señal que identifique la velocidad de giro a la que debe funcionar en cada instante, garantizando de esta forma un caudal determinado. Esto implica disponer de un sistema de control que establezca el caudal necesario en base a distintos parámetros, que se fijan en la puesta en marcha. Por todo esto, y aunque esta tecnología estuviera en un grado de madurez avanzado, es un coste añadido para la IST, tanto inicial, por el sobrecoste de la centralita, bomba y sensores adicionales, como de operación, ya que conlleva mayor frecuencia de mantenimiento para realizar ajustes, que, además, deben realizarse por personal experto.
- La obtención de ventajas por utilizar esta tecnología depende del parámetro que se fije como indicador del punto de trabajo requerido para la bomba. Este parámetro debería ser una estimación de la temperatura media reducida, T^* . Para obtener su valor, antes deberían medirse las temperaturas de entrada y salida a captadores, para estimar la temperatura media, y la temperatura ambiente y radiación solar incidente en el plano de captación. Sin embargo, como se demuestra en el desarrollo de la tesis, la incertidumbre asociada a los sensores afecta a los resultados de ensayo, ya que, al propagarse, el rendimiento esperable de un captador para una determinada T^* , se encuentra en un umbral de probabilidad, siendo posible que se superpongan zonas de rendimientos similares para caudales distintos. Esto conllevaría a no poder identificar el caudal óptimo, o lo que es lo mismo: solo sería recomendable cambiar de caudal en las zonas donde los rendimientos a distintos caudales se diferencian significativamente. Esto solo se da en zonas cercanas al rendimiento máximo, por lo que el sistema sería útil en pocas ocasiones, no siendo amortizable.

- El punto anterior implica conocer las incertidumbres de todos los sensores para obtener las salidas necesarias del sistema de control, donde se ha programado una estrategia para la selección de caudales prioritarios, según las condiciones climáticas. Sin embargo, la tecnología actual de sondas de temperatura y piranómetros comerciales para IST ofrece precisiones insuficientes para este fin. No son equipamiento de laboratorio como el utilizado en los ensayos de este trabajo, ya que su objetivo responde a otros requerimientos, como bajo coste y alta garantía de funcionamiento a lo largo de la vida útil de la IST. Esto aumentaría considerablemente los umbrales de probabilidad obtenidos para estimar el rendimiento en cada instante, y si se quisiera aumentar su precisión, el coste se incrementaría, por lo que volveríamos al primer condicionante enumerado, aumentando el plazo de amortización de dicha mejora.
- Finalmente, para que el sistema funcionara correctamente, se necesitaría disponer de datos fiables sobre el rendimiento que ofrece cada tipo de captador instalado según el caudal circulante. Esto, a día de hoy en día no es posible, ya que los captadores que se homologan según el método SST lo hacen para un solo caudal.

Ante estas conclusiones, funcionar con caudal variable en IST para calentamiento de ACS no sería una opción que aportara beneficios. Sobre todo, en climas suaves con alta radiación. Para el resto de IST, su éxito depende en gran medida de la precisión de los sensores instalados, así como de la experiencia que tengan los programadores de la estrategia de control.

Quizás sería interesante incorporar esta tecnología junto con sistemas de registro y control, para realizar un análisis de los registros mensuales por personal cualificado. De esta forma, además, se podría entrenar un sistema experto mediante lógica borrosa o redes neuronales artificiales. Así, conforme aumentaran las horas de funcionamiento, el sistema de control podría ir decidiendo qué caudal es el óptimo, basándose en los propios registros de energía producida en la IST, y no necesitando las curvas de ensayo a distintos caudales. Evidentemente, este punto solo tiene cabida en grandes IST donde este sobre coste quedaría equilibrado por la mayor producción energética.

Para el caso que nos ocupa, con IST de menor envergadura, será mucho más interesante invertir en un buen sistema de regulación de caudal, que mantendrá en todo momento un valor fijo de caudal, que se habrá calculado como el óptimo. De esta forma, se evitarán zonas con desequilibrio hidráulico, que empeorarían la producción energética. No obstante, como ya se ha comentado, en IST destinadas a redes de distrito, con grandes potencias de bombeo y donde se precisa mantener un salto térmico fijo en captadores, se justificaría la instalación de caudal variable por 2 condicionantes:

- Debido a la climatología existente en países de Europa central y Escandinavia, donde la radiación solar incidente es muy variable y existen grandes temporadas con días nublados. Por lo que sería útil poder variar el caudal en función de la señal procedente tanto de un piranómetro de alta precisión como de sondas de temperatura de calidad, (obteniendo así una buena lectura de T^*).
- La instalación de sensores de alta precisión suele amortizarse. Esto se debe a que la producción energética obtenida en la IST es elevada, y en estos países el coste de la energía convencional es alto. Además, la inversión en un grupo de sensores de mayor calidad que los usuales no supone un gran incremento en los costes iniciales, ya que existen otras partidas mucho más importantes, como son captación o acumulación.

En este tipo de instalaciones sería necesario conocer el comportamiento de los captadores ante distintos caudales de ensayo, identificando las zonas de trabajo en las que un caudal es favorable frente a otro. En cuanto a la configuración hidráulica de los captadores, sería preferible el captador tipo serpentín. Esto se debe a que permitiría mayor rango de trabajo por su capacidad de operar a caudales menores que el tipo parrilla, sin entrar en condiciones de estancamiento provocadas por desequilibrios hidráulicos. Sin embargo, al ser instalaciones con un elevado número de captadores, sería imprescindible instalar válvulas de equilibrado dinámico, capaces de asegurar unos valores de caudal similares en cada grupo de captadores independientemente del caudal de operación existente en todo el campo. En este caso no se podrían utilizar las válvulas de equilibrado estático tradicionales, debido a su propio principio de funcionamiento.

5.3. Líneas de investigación futuras

Como en toda investigación, existen algunos puntos que deberían ser tratados con mayor detenimiento. Algunos de ellos requieren disponer de dotación específica para realizar comprobaciones y trabajos experimentales. Con el objetivo de completar el camino comenzado con esta tesis, se proponen las siguientes líneas de investigación para ampliar el alcance de la misma:

- Análisis experimental de la influencia del desequilibrio hidráulico en la producción energética de un captador tipo parrilla, combinando estudio de pérdidas de carga hidráulicas mediante tubos piezométricos con termografía infrarroja, durante ensayos SST.
- Estudio del caudal de trabajo y su dependencia frente al perfil de consumo, en sistemas compactos termosifón. Selección de estrategia de calentamiento auxiliar para maximizar la producción solar de ACS.
- Análisis de datos de registro en IST para ACS y elaboración de sistema experto para selección y control de caudal primario óptimo. Ensayo en unidad de control comercial.

6. REFERENCIAS

- [ASHRAE, 2003] ASHRAE/ANSI Standard 93-2003 (2003) Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors,ASHRAE, Atlanta, GA.
- [Bava, 2017] Bava, F. (2017) A numerical model to evaluate the flow distribution in a large solar collector field, Solar Energy (143), 31-42.
- [Bava, 2016] Bava, F., Furbo, S. (2016) A numerical model for pressure drop and flow distribution in a solar collector with U-connected absorber pipes, Solar Energy (134), 264-272.
- [Bliss, 1959] Bliss, R. W. (1959) The derivations of several plate efficiency factors useful in the design of flat-plate solar-heat collectors, Solar Energy (3),55.
- [Bouhal, 2017] Bouhal, T., et al. (2017) Numerical modeling and optimization of thermal stratification in solar hot water storage tanks for domestic applications: CFD study, Solar Energy (157), 441-455.
- [Buckles, 1980] Buckles W., Klein, S.A. (1980) Analysis of solar domestic hot water heaters, Solar Energy (25), 417-424.
- [Budig, 2009] Budig, C et al. (2009) Collector parameter identification methods and their uncertainties, Proc. ISES Solar World Congress, Johannesburg (11).
- [Carrillo, 2002] Carrillo A., Cejudo, J.M. (2002) Trnsys model of a thermosiphon solar domestic water heater with a horizontal store and mantle heat exchanger, Solar Energy (72) (2), 89-98.
- [Castell, 2010] Castell, A., et al. (2010) Dimensionless numbers used to characterize stratification in water tanks for discharging at low flow rates, Renewable Energy (35), 2192-2199.
- [Carvalho, 1988] Carvalho, M. J., et al. (1988) An experimental comparison of operating strategies for solar water systems, Solar Energy (41) (1), 33-39.
- [Chen, 2012] Chen, Z., et al. (2012) Efficiencies of flat plate solar collectors at different flow rates, Energy Procedia (30), 65-72.
- [Chiou, 1982] Chiou, J.P. (1982) The effect of nonuniform fluid flow distribution on the thermal performance of solar collector, Solar Energy (29) (6), 487-502.
- [Cristofari, 2003] Cristofari C., et al. (2003) Influence of the Flow rate and the tank stratification degree on the performances of a solar flat-plate collector, International Journal of Thermal Sciences (42), 455-469.
- [CTE, 2017] Código Técnico de la Edificación. (2017). Documento Básico de Ahorro de la Energía. DB-HE4. Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- [Domínguez, 2008] Domínguez Muñoz, F. (2008) Diseño de sistemas térmicos bajo incertidumbre-aplicación a edificios e instalaciones solares, Tesis doctoral, Universidad de Málaga.
- [Domínguez, 2009] Domínguez Muñoz, F. et al. (2009) Guía del Usuario AcSol 2.5., Agencia Andaluza de la Energía.
- [Duffie, 2006] Duffie, J.A., Beckman, W.A. (2006) Solar Engineering of Solar Processes, third ed. Wiley.

[EN12975, 2006] EN12975-2 (2006) Thermal solar systems and components. Solar collectors. Part 2: Test methods, European Committee for Standardization, Belgium.

[Euroobserver, 2018] (2018) Solar thermal and concentrated solar power barometer. www.euroobserver.org

[Façao, 2015] Façao, J. (2015) Optimization of flow distribution in flat plate solar thermal collectors with riser and header arrangements, Solar Energy (120), 104-112.

[Fanne, 1988] Fanne, A.H., Klein, S.A. (1988) Thermal performance comparisons for solar hot water systems subjected to various collector and heat exchanger flow rates, Solar Energy (40) (1), 1-11.

[GUM, 1995] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (1995) (GUM, 1995) ISO, Switzerland.

[Haller, 2009] Haller, M., et al. (2009) Methods to determine stratification efficiency of thermal energy storage processes-Review and theoretical comparison, Solar Energy (83), 1847-1860.

[Herrero, 2011] Herrero, R., et al. (2011) Simulation of an enhanced flat-plate solar liquid collector with wire-coil insert devices, Solar Energy (85), 455-469.

[Hollands, 1989] Hollands, K., Lightstone, M. (1989) A review of low-flow, stratified-tank solar water heating systems, Solar Energy (43) (2), 97-105.

[Hottel, 1958] Hottel, H.C., Whillier, A. (1958) Evaluation of flat plate collector performance, Transactions of the conference on the use of solar energy, University of Arizona Press, Tucson.

[IDAE, 2013] Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. Instalaciones de energía solar térmica. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid.

[Jones, 1994] Jones, G.F., Lior, N. (1994) Flow distribution in manifolded solar collectors with negligible buoyancy effects, Solar Energy (52) (3), 289-300.

[Jordan, 2005] Jordan, U., Furbo, S. (2005) Thermal stratification in small solar domestic storage tanks caused by draw-offs, Solar Energy (78), 291-300.

[Kleinbach, 1993] Kleinbach, E. M., et al. (1993) Performance study of one-dimensional models for stratified thermal storage tanks, Solar Energy (50) (2), 155-166.

[Kuhn, 1980] Kuhn, J. K., et al. (1980) Developing and upgrading of solar system thermal energy storage simulation models, Report of Boeing Computer Services Company to the U.S. Department of Energy.

[Knudsen, 2002] Knudsen, S. (2002) Consumer's influence on the thermal performance of small SDHW systems-Theoretical investigations, Solar Energy (73) (1), 33-42.

[Mathioulakis, 2004] Mathioulakis, E., et al. (2004) Assessment of uncertainty in solar collector modelling and testing, Solar Energy (66) (5), 337-347.

[Müller, 2000] Müller-Schöll C., Frei U. Uncertainty analyses in solar collector measurement, SPF-Institut für Solartechnik, Rapperswil, Switzerland.

[Osório, 2014] Osório, T., Carvalho, M. J. (2014) Testing of solar thermal collectors under transient conditions, Solar Energy (104), 71-81.

[Peuser, 2004] Peuser, F.A., et al. (2004) Solar thermal systems: Successful planning and construction, first ed. Solarpraxis.

[RITE, 2013] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, versión consolidada que une el RD 1027/2007 y el RD 238/2013.

[RITE, 1998] Antiguo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, según RD 1751/1998.

[Rojas, 2008] Rojas, D., et al. (2008) Thermal performance testing of flat-plate collectors, Solar Energy (82), 746-757.

[Sabatelli, 2002] Sabatelli, V., et al. (2002) Efficiency test of solar collectors: uncertainty in the estimation of regression parameters and sensitivity analysis, Energy Conversion and Management (43), 2287-2295.

[UNE 94002, 2005] Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica. AENOR

[VDMA, 2014] VDMA 24224 Specifications (2014) Einheitsblatt, Wet runner circulating pumps-Specification of PWM controls signals. V Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V.

[Viti, 1996] Viti, A. (1996) DTIE 1.01. Preparación de agua caliente para usos sanitarios, Atecyr.

[Weitbrecht, 2002] Weitbrecht, V., et al. (2002) Flow distribution in solar collectors with laminar flow conditions, Solar Energy (73) (6), 433-441.

[Wang, 1990] Wang, X.A., Wu, L.G. (1990) Analysis and performance of flat-plate solar collector arrays, Solar Energy (45)(2), 71-78.

[Zalman, 1976] Zalman L., Thompson, J. (1976) Experimental study of thermally stratified hot water storage tanks, Solar Energy (19), 519-524.

[Zambolin, 2010] Zambolin, E., Del Col. (2010) Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, Solar Energy (84), 1382-1396.

7. ANEXOS

ANEXO I

Calibraciones de sensores utilizados

SITRANS F M MAGFLO

Customer			
Converter type	MAG6000	Serial No.	SE538
Sensor type	MAG1100Std DN3	Serial No.	7ME611 247912N307
Cal. Factor	7.63078E-03		
System Serial NO.	7ME611 247912N307		

Calibration Data

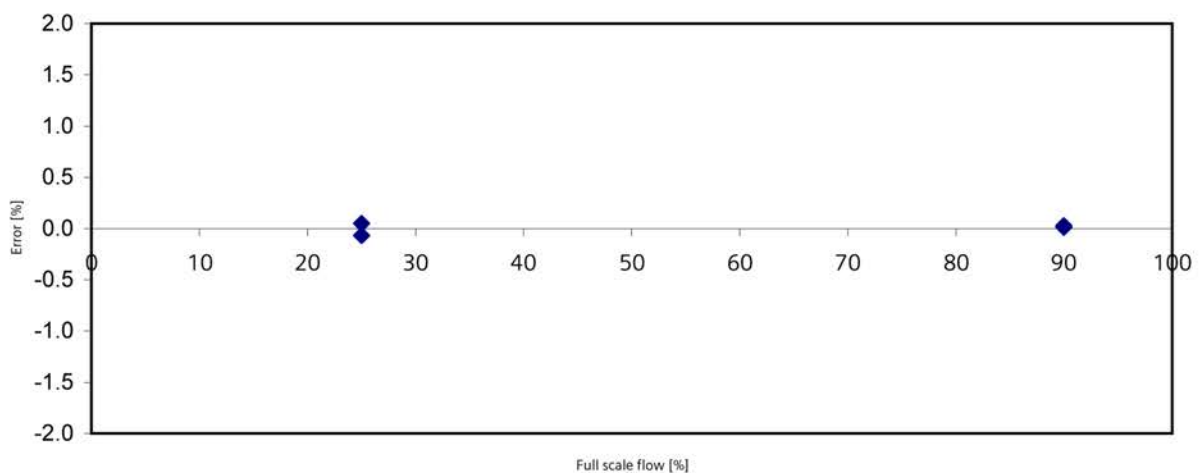
Full scale flow	0.035	l/s	Calibration liquid	Water
			Calibration rig	60 kg

Calibration Settings

Frequency output	0-10000 Hz
------------------	------------

Calibration Results

Test No.	Full scale flow	Water Temp	True Flow-Rate	Flowmeter Frequency output		
				Output	Flowrate	Error
	[%]	[°C]	l/s	[Hz]	l/s	[%]
1	90	24.2	0.034	9630.536	0.034	0.01
2	90	24.3	0.034	9634.781	0.034	0.03
3	25	24.3	0.009	2672.636	0.009	-0.07
4	25	24.3	0.009	2676.733	0.009	0.05
5						
6						
7						
8						
9						
10						



Calibrated by	BH		
Date	2007-07-25	Time	02:03:58

SITRANS F M MAGFLO

Customer			
Converter type	MAG6000	Serial No.	SE547
Sensor type	MAG1100Std DN3	Serial No.	7ME611 248012N307
Cal. Factor	7.62513E-03		
System Serial NO.	7ME611 248012N307		

Calibration Data

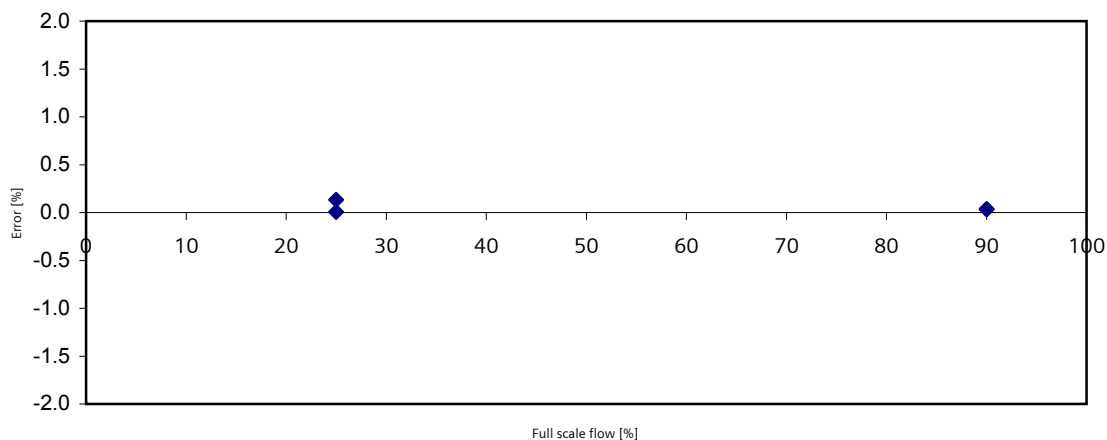
Full scale flow	0.035	l/s	Calibration liquid	Water
			Calibration rig	60 kg

Calibration Settings

Frequency output	0-10000 Hz
------------------	------------

Calibration Results

Test No.	Full scale flow	Water Temp	True Flow-Rate	Flowmeter Frequency output		
				Output	Flowrate	Error
	[%]	[°C]	l/s	[Hz]	l/s	[%]
1	90	24.2	0.034	9632.238	0.034	0.03
2	90	24.3	0.034	9635.561	0.034	0.04
3	25	24.3	0.009	2674.651	0.009	0.01
4	25	24.3	0.009	2678.961	0.009	0.13
5						
6						
7						
8						
9						
10						



Calibrated by	BH		
Date	2007-07-25	Time	02:03:58

CALIBRATION REPORT

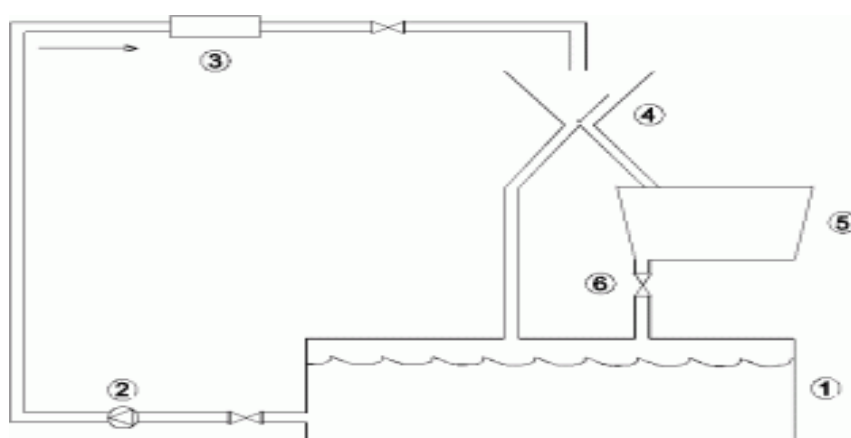
Reference conditions

Calibration rig

Issued by: Siemens Flow Instruments Ltd.
GBFD Flow Laboratory

The test rigs operate according to the static weighing method, as described in ISO 4185 "Measurement of fluid flow in closed conduits". See diagram below.

During calibration, the meter under test (3) is compared with a known quantity of water collected in a weighing tank (5). A diverter (4) controls the diversion of the water into the tank and the start/stop of the timing and data collection. The true Flowrate is derived from the Mass of water collected, the water density and the diversion time. The Measured Flowrate is calculated from the flowmeter Output, the Full Scale Flowrate setting and the diversion Time. The Error is the deviation of the Measured Flowrate from the True Flowrate.



1. Sump
2. Pump
3. Meter under Calibration
4. Diverter
5. Weighing tank
6. Drain valve

Specification

Calibration rig	60 Kg	100 Kg	1200 Kg	8 Tonnes	46 Tonnes
Liquid	Water	Water	Water	Water	Water
Liquid temperature	15 - 30°C	15 - 30°C	15 - 30°C	15 - 30°C	15 - 30°C
Meter capacity	DN6-DN25	DN6-DN50	DN50-DN150	DN150-DN450	DN450-DN1800
Max. Flowrate	10 m3/h	2.5 l/s	30 l/s	200 l/s	1200 l/s
Min Flowrate	0.01 m3/h	0.0028 l/s	0.196 l/s	1.767 l/s	200 l/s *)
Max. Mass	60 kg	80 kg	1200 kg	7500 kg	46000 kg
Uncertainty K=2**)	< 0.1 %	< 0.1 %	< 0.1 %	< 0.1 %	< 0.1 %

*) This limit can be reduced to 1.77 l/s by utilisation of the 8 Tonne collecting tank.

**) The uncertainty (in the calculations of the True Flowrate) is for a confidence probability of 95% and is estimated in accordance with ISO TR 5168

Traceability

All instrumentation used by the Flow Laboratory to measure Mass, Density, Time and Flowmeter Output, during the performance of its calibrations has been calibrated by a UKAS accredited laboratory. This provides an unbroken chain of measurement traceability to national standards.



Agilent Technologies

Agilent Technologies (M) Sdn. Bhd. (012767-W)
Bayan Lepas Free Industrial Zone
11900 Penang
Malaysia



5962-0476

Certificate Of Calibration

Certificate No: 34901AMY41105356

Manufacturer: Agilent Technologies

Model No: 34901A

Options Installed With Specifications: N/A

Description: 20-Channel Armature Multiplexer

Serial No: MY41105356

Date of Calibration: 30 JUN 2009

Temperature: (23 +/- 5) C

Humidity: 10 to 50% RH

Procedure: at34901a_902a_908a_cal.tpa

This certifies that the above product was calibrated in compliance with a quality system registered to ISO 9001:2000, using applicable Agilent Technologies' procedures.

As Received: Factory tested. No incoming data available.

As Shipped Conditions: At the completion of the calibration, measured values were IN-SPECIFICATION at the points tested.

These calibration procedures and test points are those recommended in a procedure developed by Agilent.

Remarks or special requirements:

Traceability Information: Traceability is to national standards administered by the U.S. NIST, NRC Canada, Euromet members (NPL, PTB, BNM, etc.) or other recognized standards laboratories. Some measurements are traceable to natural physical constants, consensus standards or ratio type measurements. Supporting documentation relative to traceability is available for review by appointment. This report shall not be reproduced, except in full, without prior written approval of the calibration facility.

Calibration Equipment Used:

Model Number Model Description

34970A Data Acquisition/Switch Unit

Date Used: Date equipment used in this Calibration.

Trace Number

Date Used

Cal Due Date

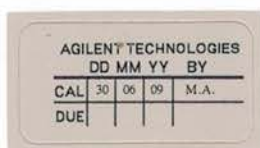
P2562

30-JUN-2009

21-FEB-2010

Print Date: 30-JUN-2009

Tay Eng Su
Quality Manager



MEASUREMENT REPORT

PYRANOMETER

Routine measurement of directional error during final inspection

Mean cosine error of each new pyranometer type CMP 21 is measured by a simple routine.

Routine:

The pyranometerbase is placed against the vertical turntable of a goniometer in the parallel (0.5°) beam of a sunsimulator.

Voltage output $U(z)$ is measured for beam incidence (zenith) angles of 0°, 40°, 60°, 70° and 80° coming in over azimuth south (cable pointing to North).

Next the pyranometer output $U(-z)$ is measured for incidence angles of -80°, -70°, -60°, -40° and 0° consequently for azimuth south. The dark signal is measured at the beginning of the routine in the middle and at the end. For each beam incident angle the dark signal is interpolated.

During the CMP 21 measurement cycle, a check is done on the azimuth error at 40° and 70° by measuring voltages for azimuth-directions S, E, N and W. Also at -70° and -40° this azimuth error is measured and the mean of both azimuth measurements cancels out the eventual error in the 0° position.

With the extended procedure at both 40° and -40° and 70° and -70° the specific cosine error for 8 azimuth directions (40° S, W, N and E and 70° E, N, W, S) can be calculated according to formula 1 and verified whether it is within $\pm 10 \text{ W/m}^2$.

The applied formula for the relative cosine error is:

$U(0^\circ)$ Pyranometer output voltage for normal incidence

$U(z)$ Pyranometer output voltage for angles (z)

Zero(z) Dark signal for angles

$$\frac{\frac{U(z) + U(-z)}{2} - \text{zero}(z)}{\left(\frac{U(0^\circ) + U(0^\circ)}{2} - \text{zero}(z)\right) \cdot \cos(z)} \cdot 100\%$$

Formula 1.

Relative cosine error at zenith angle in %

Zenith angle	South	East	North	West
40	-0.32	-0.47	-0.33	-0.39
60	-1.55			
70	-2.61	-2.45	-1.66	-2.03
80	-3.90			

Absolute cosine error for 1000 W/m^2 beam radiation in W/m^2

Zenith angle	South	East	North	West
40	-2.48	-3.59	-2.53	-2.95
60	-7.73			
70	-8.93	-8.39	-5.67	-6.95
80	-6.79			

PYRANOMETER MODEL: CMP 21

SERIAL NUMBER: 150558

Kipp & Zonen B.V.
Delftechpark 36, 2628 XH Delft
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands

T: +31 (0) 15 2755 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com
www.kippzonen.com

VAT no.: NL0055.74.857.B.01
Trade Register no.: 27239004
Member of HMEI

MEASUREMENT REPORT

PYRANOMETER

Routine measurement of temperature dependency during final inspection.

DATE OF MEASUREMENT : 25/06/2015

PERFORMED BY : J.P. Vink

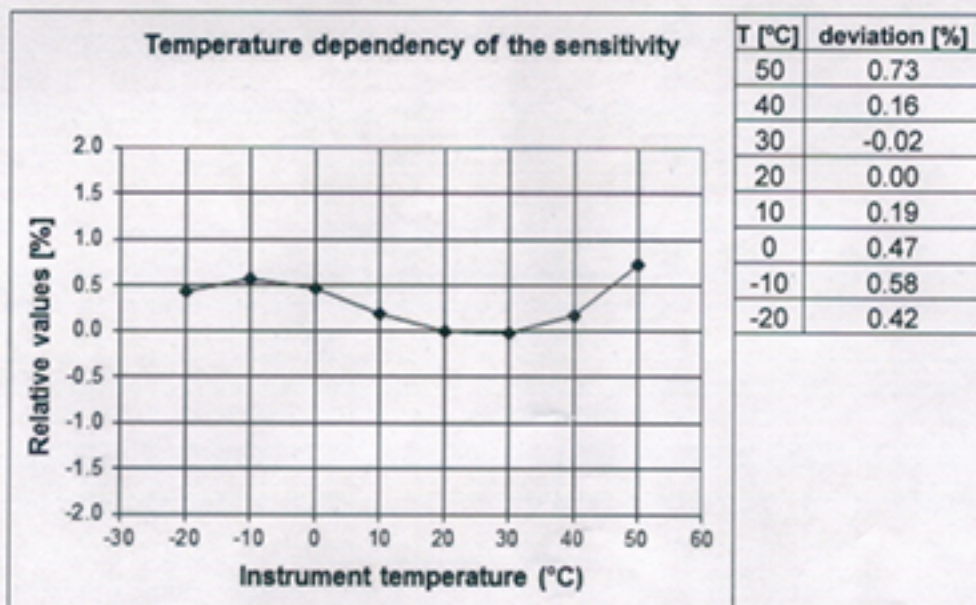
PYRANOMETER TYPE : CMP 21

SERIAL NUMBER : 150558

PROCEDURE:

The pyranometer is mounted inside the climate chamber and illuminated with a white light source under normal incidence. A CMP22 pyranometer outside the chamber is used to monitor lamp stability.

The pyranometer is tested in a temperature range over 50 °C down to -20 °C in steps of 10 °C. The relative temperature dependency is plotted below



CERTIFICATE NUMBER	012179150558
PYRANOMETER MODEL	CMP 21
SERIAL NUMBER	150558
SENSITIVITY	10.36 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ at normal incidence on horizontal pyranometer
IMPEDANCE	29 Ω
TEMPERATURE	22 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$
REFERENCE PYRANOMETER	Kipp & Zonen CMP 21 sn 070115 active from 01 January 2015
CALIBRATION DATE	25 June 2015
CLASSIFICATION	ISO 9060, Secondary Standard

Calibration procedure

The indoor calibration procedure is based on a side-by-side comparison with a reference pyranometer under an artificial sun fed by an AC voltage stabiliser. It embodies a 150 W Metal-Halide high-pressure gas discharge lamp. Behind the lamp is a reflector with a diameter of 16.2 cm. The reflector is above the pyranometers producing a vertical beam. The reference and test pyranometers are mounted horizontally on a table, which can rotate. The irradiance at the pyranometers is approximately 500 W/m^2 . During the calibration procedure the reference and test pyranometer are interchanged to correct for any non-homogeneity of the beam. This procedure is in accordance with ISO 9847, Type IIC.

Hierarchy of traceability

The reference pyranometer was compared with the sun and sky radiation as source under mainly clear sky conditions using the "continuous sun-and-shade method". The measurements were performed in Davos (latitude: 46.8143°, longitude: -9.8458°, altitude: 1588 m above sea level). The readings are referred to the World Radiometric Reference (WRR) as stated in the WMO Technical Regulations. The originally estimated uncertainty of the WRR relative to SI is $\pm 0.3\%$.

The inclination of the receiver surface versus the true horizontal plane was set to 0.0 degrees, the instrument signal wire to the north. During the comparisons, the instrument received global radiation intensities from 665 to 1082 with a mean of 897 W/m^2 . The angle between the solar beam and the normal of the receiver surface varied from 25.3 to 50.0 with a mean of 33.7 degrees. The ambient temperature ranged from +15.3 to +25.3 with a mean of +20.7 $^{\circ}\text{C}$. The sensitivity calculation and the single measurements deviation (σ) are based on 623 individual measurements. The obtained sensitivity value and its expanded uncertainty (95% level of confidence) are valid for similar conditions and are: $8.75 \pm 0.11 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ (but is corrected for its directional response to $10.36 \pm 0.11 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$).

Dates of measurements: 15-19, 25 July 2014

Global radiation data were calculated from the direct solar radiation as measured with the absolute cavity pyrheliometer PMO2 (member of the WSG, WRR-Factor: 0.998623, based on the last International Pyrheliometer Comparison IPC-2010) and from the diffuse radiation as measured with a continuous disk shaded pyranometer Kipp & Zonen CM22 SN 020059 with sensitivity 8.88 (ventilated with heated air, instrument-wire to the north).

Justification of total instrument calibration uncertainty

The combined uncertainty of the result of the calibration is the positive "root sum square" of two uncertainties.

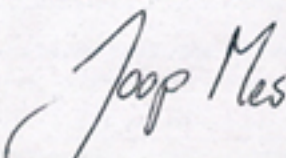
1. The expanded uncertainty due to random effects and instrumental errors during the calibration of the reference CMP 21 as given by the World Radiation Center in Davos is $\pm 0.11/8.75 = \pm 1.26\%$. (See traceability text).
2. Also based on experience the expanded uncertainty of the transfer procedure (calibration by comparison) is estimated to be $\pm 0.5\%$.

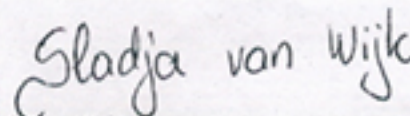
The estimated combined expanded uncertainty is the positive "root sum square" of these two uncertainties: $\sqrt{(1.26^2 + 0.5^2)} = \pm 1.35\%$.

Notice

The calibration certificate supplied with the instrument is at the date of first use. Even though the calibration certificate is dated relative to manufacture, or recalibration, the instrument does not undergo any sensitivity changes when kept in the original packing. From the moment the instrument is taken from its packaging and exposed to irradiance the sensitivity may deviate with time. See the 'non-stability' value (% change in sensitivity per year) given in the radiometer specifications.

Delft, The Netherlands, 25 June 2015


J. Mes
(in charge of calibration facility)


S. van Wijk
(in charge of test)

Kipp & Zonen B.V.
Delftechpark 36, 2628 XH Delft
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands

T: +31 (0) 15 2755 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com
www.kippzonen.com

VAT no.: NL0055.74.857.B.01
Trade Register no.: 27239004
Member of HMEI

CERTIFICATE NUMBER	013443930127
PYRANOMETER MODEL	CM 21
SERIAL NUMBER	930127
SENSITIVITY	12.81 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ at normal incidence on horizontal pyranometer
IMPEDANCE	54 Ω
TEMPERATURE	22 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$
REFERENCE PYRANOMETER	Kipp & Zonen CMP 21 sn 070114 active from 01 January 2016
CALIBRATION DATE	08 February 2016
CLASSIFICATION	ISO 9060, Secondary Standard

Calibration procedure

The indoor calibration procedure is based on a side-by-side comparison with a reference pyranometer under an artificial sun fed by an AC voltage stabiliser. It embodies a 150 W Metal-Halide high-pressure gas discharge lamp. Behind the lamp is a reflector with a diameter of 16.2 cm. The reflector is above the pyranometers producing a vertical beam. The reference and test pyranometers are mounted horizontally on a table, which can rotate. The irradiance at the pyranometers is approximately 500 W/m^2 . During the calibration procedure the reference and test pyranometer can be interchanged to correct for any non-homogeneity of the beam. This procedure is in accordance with ISO 9847, Type IIc.

Hierarchy of traceability

The reference pyranometer was compared with the sun and sky radiation as source under mainly clear sky conditions using the "continuous sun-and-shade method". The measurements were performed in Davos (latitude: 46.8143°, longitude: -9.8458°, altitude: 1588 m above sea level). The readings are referred to the World Radiometric Reference (WRR) as stated in the WMO Technical Regulations. The originally estimated uncertainty of the WRR relative to SI is $\pm 0.3\%$.

The inclination of the receiver surface versus the true horizontal plane was set to 0.0 degrees, the instrument signal wire to the north. During the comparisons, the instrument received global radiation intensities from 638 to 1195 with a mean of 874 W/m^2 . The angle between the solar beam and the normal of the receiver surface varied from 23.5 to 49.8 with a mean of 32.9 degrees. The ambient temperature ranged from +12.6 to +26.2 with a mean of +23.7 $^{\circ}\text{C}$. The sensitivity calculation and the single measurements deviation (n) are based on 435 individual measurements. The obtained sensitivity value and its expanded uncertainty (95% level of confidence) are valid for similar conditions and are: 8.37 \pm 0.11 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ but is corrected for its directional response to 12.81 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$.

Dates of measurements: June 24, 30 July 1, 2 2015

Global radiation data were calculated from the direct solar radiation as measured with the absolute cavity pyrheliometer PMO2 (member of the WSG, WRR-Factor: 0.998623, based on the last International Pyrheliometer Comparison IPC-2010) and from the diffuse radiation as measured with a continuous disk shaded pyranometer Kipp & Zonen CM22 SN 020059 with sensitivity 8.88 (ventilated with heated air, instrument-wire to the north).

Justification of total instrument calibration uncertainty

The combined uncertainty of the result of the calibration is the positive "root sum square" of two uncertainties.

1. The expanded uncertainty due to random effects and instrumental errors during the calibration of the reference CMP 21 as given by the World Radiation Center in Davos is $\pm 0.11/8.37 = \pm 1.31\%$. (See traceability text).

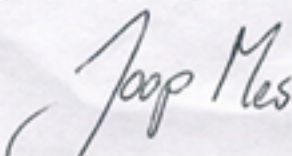
2. Also based on experience the expanded uncertainty of the transfer procedure (calibration by comparison) is estimated to be $\pm 0.5\%$.

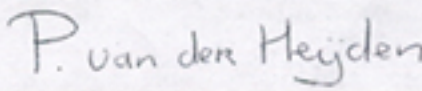
The estimated combined expanded uncertainty is the positive "root sum square" of these two uncertainties: $\sqrt{(1.31^2 + 0.5^2)} = \pm 1.41\%$.

Notice

The calibration certificate supplied with the instrument is at the date of first use. Even though the calibration certificate is dated relative to manufacture, or recalibration, the instrument does not undergo any sensitivity changes when kept in the original packing. From the moment the instrument is taken from its packaging and exposed to irradiance the sensitivity may deviate with time. See the 'non-stability' value (% change in sensitivity per year) given in the radiometer specifications.

Delft, The Netherlands, 08 February 2016


J. Mes
(in charge of calibration facility)


P. van der Heijden
(in charge of test)

Kipp & Zonen B.V.
Delftechpark 36, 2628 XH Delft
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands

T: +31 (0) 15 2755 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com
www.kippzonen.com

VAT no.: NL0055.74.857.B.01
Trade Register no.: 27239004
Member of HMEI



0564

TC Ltd., Units 1-6, Brimington Rd North, Chesterfield, S41 9BE, United Kingdom
 Email: calibration@tc.co.uk - Web: www.tc.co.uk
 Tel: +44 (0)1895 252222 - Fax: +44 (0)1895 273540

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 18 noviembre 2015
 Cliente: Univ. De Malaga-Etsi Industriales
 Dirección: Maq. Y Motores Termicos Plaza El Ejido, S/N 29013 Malaga
 Pedido Cliente: Job
 Pedido Interno: M15614
 Fecha Entrada: 28 octubre 2015
 Tipo: Pt100, 3mm x 500mm
 N° Serie: M15614/1B
 Referencia: 18-1-3.0-4-60-CE10-R100-1/10
 Temp. Ambiente: 20°C +/- 2°C

Responsables:
 L R Walker
 K M Donaldson
 J R Hill

Certificado
 Número: 24679 - 1B

Procedimiento de Calibración: El termómetro ha sido calibrado por comparación con dos termorresistencias. La calibración se ha realizado en un horno seco de calibración Venus y un baño líquido de tubo paralelo Neptune. Todas las medidas tienen trazabilidad con normativas Británicas reconocidas. Los valores de resistencia han sido medidos con un multímetro digital de precisión. Los procedimientos de calibración han sido desarrollados bajo un entorno controlado utilizando instrumentación con trazabilidad. Los valores de temperatura obtenidos son trazables a la ITS-90. Los valores de resistencia han sido convertidos utilizando la normativa IEC60751:2008. El organismo ILAC MRA nos permite que la acreditación UKAS tenga una equivalencia a nivel de integridad con los estándares de trazabilidad ENAC.

TEMPERATURA DE REFERENCIA (°C)	RESISTENCIA MEDIDA (Ω)	VALOR IEC EQUIVALENTE (°C)	ERROR (°C)	INCERTIDUMBRE (+/- °C)
25,05	109,725	24,98	-0,07	0,2
50,17	119,445	50,12	-0,05	0,2
75,15	128,993	75,01	-0,14	0,2
100,23	138,594	100,23	0,00	0,2

La corriente de excitación de la PRT es de 1mA

La profundidad mínima de inmersión del termómetro ha sido de 170mm

Calibrado por: T Heath

Fecha Calibración: 18 noviembre 2015

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para la distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme a los requerimientos UKAS.

Nota: Es responsabilidad del usuario determinar la deriva y la incertidumbre de medida en función de las condiciones de uso

Este certificado se expide de acuerdo con la acreditación concedida por UKAS (United Kingdom Accreditation Service). El certificado de calibración es trazable respecto a patrones nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el National Physical Laboratory. Según acuerdo multilateral de la EA (European co-operation for Accreditation) y el ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) existe un acuerdo de reconocimiento mutuo de equivalencia entre los laboratorios de calibración Europeos. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.





0564

TC Ltd., Units 1-6, Brimington Rd North, Chesterfield, S41 9BE, United Kingdom
Email: calibration@tc.co.uk - Web: www.tc.co.uk
Tel: +44 (0)1895 252222 - Fax: +44 (0)1895 273540

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 18 noviembre 2015
Cliente: Univ. De Malaga-Etsi Industriales
Dirección: Maq. Y Motores Termicos Plaza El Ejido, S/N 29013 Malaga
Pedido Cliente: Job
Pedido Interno: M15614
Fecha Entrada: 28 octubre 2015
Tipo: Pt100, 3mm x 500mm
Nº Serie: M15614/2B
Referencia: 18-1-3.0-4-60-CE10-R100-1/10
Termorresistencia de Platino de Aislamiento Mineral
Temp. Ambiente: 20°C +/- 2°C

Responsables:
L R Walker
K M Donaldson
J R Hill

RAW

Certificado
Número: 24679 - 2B

Procedimiento de Calibración: El termómetro ha sido calibrado por comparación con dos termorresistencias. La calibración se ha realizado en un horno seco de calibración Venus y un baño líquido de tubo paralelo Neptune. Todas las medidas tienen trazabilidad con normativas Británicas reconocidas. Los valores de resistencia han sido medidos con un multimetro digital de precisión. Los procedimientos de calibración han sido desarrollados bajo un entorno controlado utilizando instrumentación con trazabilidad. Los valores de temperatura obtenidos son trazables a la ITS-90. Los valores de resistencia han sido convertidos utilizando la normativa IEC60751:2006. El organismo ILAC MRA nos permite que la acreditación UKAS tenga una equivalencia a nivel de integridad con los estándares de trazabilidad ENAC.

TEMPERATURA DE REFERENCIA (°C)	RESISTENCIA MEDIDA (Ω)	VALOR IEC EQUIVALENTE (°C)	ERROR (°C)	INCERTIDUMBRE (+/- °C)
25,05	109,720	24,96	-0,09	0,2
50,17	119,439	50,11	-0,06	0,2
75,15	128,997	75,03	-0,12	0,2
100,23	138,592	100,23	0,00	0,2

La corriente de excitación de la PRT es de 1mA
La profundidad mínima de inmersión del termómetro ha sido de 170mm

Calibrado por: T Heath

Fecha Calibración: 18 noviembre 2015

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para la distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme a los requerimientos UKAS.

Nota: Es responsabilidad del usuario determinar la deriva y la incertidumbre de medida en función de las condiciones de uso

Este certificado se expide de acuerdo con la acreditación concedida por UKAS (United Kingdom Accreditation Service). El certificado de calibración es trazable respecto a patrones nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el National Physical Laboratory. Según acuerdo multilateral de la EA (European co-operation for Accreditation) y el ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) existe un acuerdo de reconocimiento mutuo de equivalencia entre los laboratorios de calibración Europeos. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.





0564

TC Ltd., Units 1-6, Brimington Rd North, Chesterfield, S41 9BE, United Kingdom
Email: calibration@tc.co.uk - Web: www.tc.co.uk
Tel: +44 (0)1895 252222 - Fax: +44 (0)1895 273540

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 18 noviembre 2015
Cliente: Univ. De Malaga-Etsi Industriales
Dirección: Maq. Y Motores Termicos Plaza El Ejido, S/N 29013 Malaga
Pedido Cliente: Job
Pedido Interno: M15614
Fecha Entrada: 28 octubre 2015
Tipo: Pt100, 3mm x 500mm
Nº Serie: M15614/3B
Referencia: 18-1-3.0-4-60-CE10-R100-1/10
Termorresistencia de Platino de Aislamiento Mineral
Temp. Ambiente: 20°C +/- 2°C

Responsables:
L R Walker
K M Donaldson
J R Hill

Certificado
Número: 24679 - 3B

Procedimiento de Calibración: El termómetro ha sido calibrado por comparación con dos termorresistencias. La calibración se ha realizado en un horno seco de calibración Venus y un baño líquido de tubo paralelo Neptune. Todas las medidas tienen trazabilidad con normativas Británicas reconocidas. Los valores de resistencia han sido medidos con un multímetro digital de precisión. Los procedimientos de calibración han sido desarrollados bajo un entorno controlado utilizando instrumentación con trazabilidad. Los valores de temperatura obtenidos son trazables a la ITS-90. Los valores de resistencia han sido convertidos utilizando la normativa IEC60751:2008. El organismo ILAC MRA nos permite que la acreditación UKAS tenga una equivalencia a nivel de integridad con los estándares de trazabilidad ENAC.

TEMPERATURA DE REFERENCIA (°C)	RESISTENCIA MEDIDA (Ω)	VALOR IEC EQUIVALENTE (°C)	ERROR (°C)	INCERTIDUMBRE (+/- °C)
25,03	109,728	24,98	-0,05	0,2
50,16	119,467	50,18	0,02	0,2
75,15	129,037	75,13	-0,02	0,2
100,19	138,599	100,25	0,06	0,2

La corriente de excitación de la PRT es de 1mA

La profundidad mínima de inmersión del termómetro ha sido de 170mm

Calibrado por: T Heath

Fecha Calibración: 18 noviembre 2015

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para la distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme a los requerimientos UKAS.

Nota: Es responsabilidad del usuario determinar la deriva y la incertidumbre de medida en función de las condiciones de uso

Este certificado se expide de acuerdo con la acreditación concedida por UKAS (United Kingdom Accreditation Service). El certificado de calibración es trazable respecto a patrones nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el National Physical Laboratory. Según acuerdo multilateral de la EA (European co-operation for Accreditation) y el ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) existe un acuerdo de reconocimiento mutuo de equivalencia entre los laboratorios de calibración Europeos. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.





0564

TC Ltd., Units 1-6, Brimington Rd North, Chesterfield, S41 9BE, United Kingdom
 Email: calibration@tc.co.uk - Web: www.tc.co.uk
 Tel: +44 (0)1895 252222 - Fax: +44 (0)1895 273540

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 18 noviembre 2015
 Cliente: Univ. De Malaga-Etsi Industriales
 Dirección: Maq. Y Motores Termicos Plaza El Ejido, S/N 29013 Malaga
 Pedido Cliente: Job
 Pedido Interno: M15614
 Fecha Entrada: 28 octubre 2015
 Tipo: Pt100, 3mm x 500mm
 N° Serie: M15614/4B
 Referencia: 18-1-3.0-4-60-CE10-R100-1/10
 Termorresistencia de Platino de Aislamiento Mineral
 Temp. Ambiente: 20°C +/- 2°C

Responsables:
 L R Walker
 K M Donaldson
 J R Hill

RAW

Certificado
 Número: 24679 - 4B

Procedimiento de Calibración: El termómetro ha sido calibrado por comparación con dos termorresistencias. La calibración se ha realizado en un horno seco de calibración Venus y un baño líquido de tubo paralelo Neptune. Todas las medidas tienen trazabilidad con normativas Británicas reconocidas. Los valores de resistencia han sido medidos con un multímetro digital de precisión. Los procedimientos de calibración han sido desarrollados bajo un entorno controlado utilizando instrumentación con trazabilidad. Los valores de temperatura obtenidos son trazables a la ITS-90. Los valores de resistencia han sido convertidos utilizando la normativa IEC60751:2008. El organismo ILAC MRA nos permite que la acreditación UKAS tenga una equivalencia a nivel de integridad con los estándares de trazabilidad ENAC.

TEMPERATURA DE REFERENCIA (°C)	RESISTENCIA MEDIDA (Ω)	VALOR IEC EQUIVALENTE (°C)	ERROR (°C)	INCERTIDUMBRE (+/- °C)
25,03	109,758	25,06	0,03	0,2
50,16	119,479	50,21	0,05	0,2
75,16	129,073	75,22	0,06	0,2
100,20	138,634	100,34	0,14	0,2

La corriente de excitación de la PRT es de 1mA
 La profundidad mínima de inmersión del termómetro ha sido de 170mm

Calibrado por: T Heath

Fecha Calibración: 18 noviembre 2015

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para la distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme a los requerimientos UKAS.

Nota: Es responsabilidad del usuario determinar la deriva y la incertidumbre de medida en función de las condiciones de uso

Este certificado se expide de acuerdo con la acreditación concedida por UKAS (United Kingdom Accreditation Service). El certificado de calibración es trazable respecto a patrones nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el National Physical Laboratory. Según acuerdo multilateral de la EA (European co-operation for Accreditation) y el ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) existe un acuerdo de reconocimiento mutuo de equivalencia entre los laboratorios de calibración Europeos. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.





0564

TC Ltd., Units 1-6, Brimington Rd North, Chesterfield, S41 9BE, United Kingdom
 Email: calibration@tc.co.uk - Web: www.tc.co.uk
 Tel: +44 (0)1895 252222 - Fax: +44 (0)1895 273540

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 18 noviembre 2015
 Cliente: Univ. De Malaga-Etsi Industriales
 Dirección: Maq. Y Motores Termicos Plaza El Ejido, S/N 29013 Malaga
 Pedido Cliente: Job
 Pedido Interno: M15614
 Fecha Entrada: 28 octubre 2015
 Tipo: Pt100, 3mm x 500mm
 N° Serie: M15614/5B
 Referencia: 18-1-3.0-4-60-CE10-R100-1/10
 Temp. Ambiente: 20°C +/- 2°C

Responsables:
 L R Walker
 K M Donaldson
 J R Hill

Certificado
 Número: 24679 - 5B

Procedimiento de Calibración: El termómetro ha sido calibrado por comparación con dos termorresistencias. La calibración se ha realizado en un horno seco de calibración Venus y un baño líquido de tubo paralelo Neptune. Todas las medidas tienen trazabilidad con normativas Británicas reconocidas. Los valores de resistencia han sido medidos con un multímetro digital de precisión. Los procedimientos de calibración han sido desarrollados bajo un entorno controlado utilizando instrumentación con trazabilidad. Los valores de temperatura obtenidos son trazables a la ITS-90. Los valores de resistencia han sido convertidos utilizando la normativa IEC60751:2008. El organismo ILAC MRA nos permite que la acreditación UKAS tenga una equivalencia a nivel de integridad con los estándares de trazabilidad ENAC.

TEMPERATURA DE REFERENCIA (°C)	RESISTENCIA MEDIDA (Ω)	VALOR IEC EQUIVALENTE (°C)	ERROR (°C)	INCERTIDUMBRE (+/- °C)
25,02	109,738	25,01	-0,01	0,2
50,16	119,481	50,22	0,06	0,2
75,54	129,207	75,58	0,04	0,2
100,18	138,603	100,26	0,08	0,2

La corriente de excitación de la PRT es de 1mA

La profundidad mínima de inmersión del termómetro ha sido de 170mm

Calibrado por: T Heath

Fecha Calibración: 18 noviembre 2015

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para la distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme a los requerimientos UKAS.

Nota: Es responsabilidad del usuario determinar la deriva y la incertidumbre de medida en función de las condiciones de uso

Este certificado se expide de acuerdo con la acreditación concedida por UKAS (United Kingdom Accreditation Service). El certificado de calibración es trazable respecto a patrones nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el National Physical Laboratory. Según acuerdo multilateral de la EA (European co-operation for Accreditation) y el ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) existe un acuerdo de reconocimiento mutuo de equivalencia entre los laboratorios de calibración Europeos. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.





0564

TC Ltd., Units 1-6, Brimington Rd North, Chesterfield, S41 9BE, United Kingdom
Email: calibration@tc.co.uk - Web: www.tc.co.uk
Tel: +44 (0)1895 252222 - Fax: +44 (0)1895 273540

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha: 18 noviembre 2015
Cliente: Univ. De Malaga-Etsi Industriales
Dirección: Maq. Y Motores Termicos Plaza El Ejido, S/N 29013 Malaga
Pedido Cliente: Job
Pedido Interno: M15614
Fecha Entrada: 28 octubre 2015
Tipo: Pt100, 3mm x 500mm
Nº Serie: M15614/1B
Referencia: 18-1-3.0-4-60-CE10-R100-1/10
Termorresistencia de Platino de Aislamiento Mineral
Temp. Ambiente: 20°C +/- 2°C

Responsables:
L R Walker
K M Donaldson
J R Hill

Certificado
Número: 24679 - 1B

Procedimiento de Calibración: El termómetro ha sido calibrado por comparación con dos termorresistencias. La calibración se ha realizado en un horno seco de calibración Venus y un baño líquido de tubo paralelo Neptune. Todas las medidas tienen trazabilidad con normativas Británicas reconocidas. Los valores de resistencia han sido medidos con un multimetro digital de precisión. Los procedimientos de calibración han sido desarrollados bajo un entorno controlado utilizando instrumentación con trazabilidad. Los valores de temperatura obtenidos son trazables a la ITS-90. Los valores de resistencia han sido convertidos utilizando la normativa IEC60751:2008. El organismo ILAC MRA nos permite que la acreditación UKAS tenga una equivalencia a nivel de integridad con los estándares de trazabilidad ENAC.

TEMPERATURA DE REFERENCIA (°C)	RESISTENCIA MEDIDA (Ω)	VALOR IEC EQUIVALENTE (°C)	ERROR (°C)	INCERTIDUMBRE (+/- °C)
25,05	109,725	24,98	-0,07	0,2
50,17	119,445	50,12	-0,05	0,2
75,15	128,993	75,01	-0,14	0,2
100,23	138,594	100,23	0,00	0,2

La corriente de excitación de la PRT es de 1mA

La profundidad mínima de inmersión del termómetro ha sido de 170mm

Calibrado por: T Heath

Fecha Calibración: 18 noviembre 2015

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para la distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme a los requerimientos UKAS.

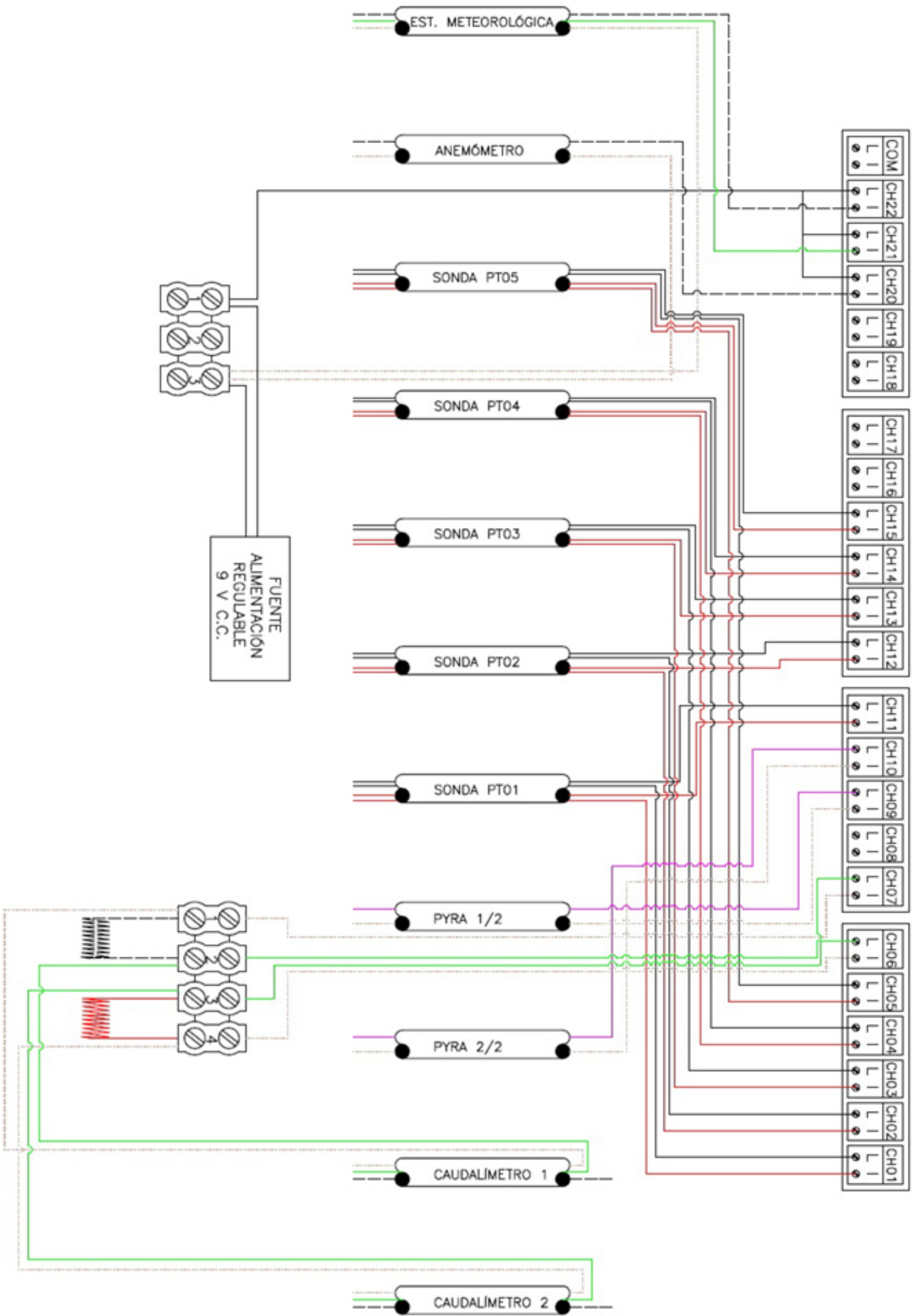
Nota: Es responsabilidad del usuario determinar la deriva y la incertidumbre de medida en función de las condiciones de uso

Este certificado se expide de acuerdo con la acreditación concedida por UKAS (United Kingdom Accreditation Service). El certificado de calibración es trazable respecto a patrones nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el National Physical Laboratory. Según acuerdo multilateral de la EA (European co-operation for Accreditation) y el ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) existe un acuerdo de reconocimiento mutuo de equivalencia entre los laboratorios de calibración Europeos. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.



ANEXO II

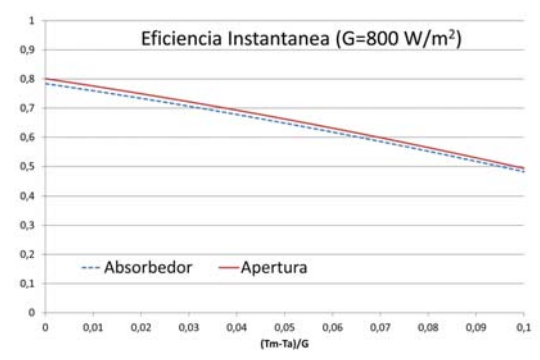
Esquema de conexionado de canales del datalogger



ANEXO III

Especificaciones técnicas de captadores ensayados: Termicol T20US y T20MS

Cap. Solar Plano T20US



Datos energéticos

Norma de ensayo EN -12975

Referida al área de apertura y T _m	
Factor óptico (h ₀)	0,801
Factor lineal pérdidas (a ₀₁) W/m ² K	3,93
Factor cuadrático pérdidas (a ₀₂) W/m ² K ²	0,026
Referida al área del absorbedor y T _m	
Factor óptico (h ₀)	0,784
Factor lineal pérdidas (a ₀₁) W/m ² K	3,84
Factor cuadrático pérdidas (a ₀₂) W/m ² K ²	0,002

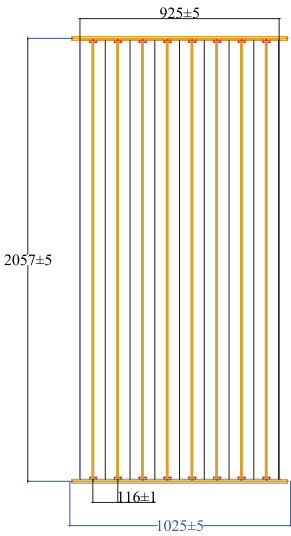
Dimensiones

Dimensiones externas	
Largo (mm)	2130
Ancho (mm)	970
Fondo (mm)	83
Área del bruta(m ²)	2,0
Área neta (m ²)	1,9

Dimensiones absorbedor	
Largo (mm)	2057
Ancho (mm)	925
Área del absorbedor (m2)	1,9



Absorbedor	
Tipo	Multibanda
Material	Aluminio
Tipo de soldadura	Ultrasónica
Número de tubos	8
Diámetros externos (mm)	
Tubos Colectores	18
Tubos Verticales	8
Recubrimiento	
Tipo	Alto selectivo
Material	CERMET
Aplicación	Sputtering
Absortividad	95 %
Emisividad	5 %



Aislamiento	
Tipo	Manta
Material	Lana de vidrio
Dimensiones (mm)	
Largo	2100
Ancho	960
Área	2,0
Espesor	40
Conductividad (W/m ² K)	0,034

Cofre de aluminio	
Tipo	Extrusionado y Anodizado
Material	AL-6063 T5
Dimensiones (mm)	
Largo	2130
Ancho	970
Alto	83

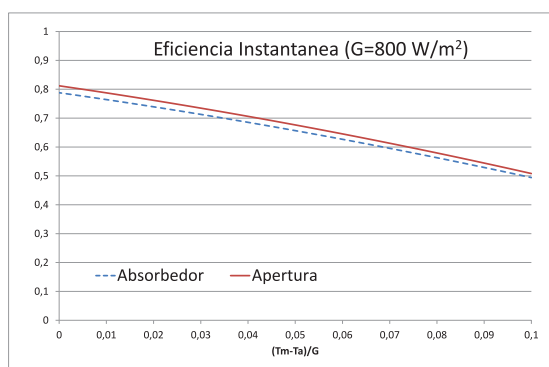
Presiones mecánicas máximas (Pa)	
Positiva	1008
Negativa	1012

Parámetros varios	
Peso en vacío (kg)	37
Volumen interior (litros)	1,02

Caída de presión	
Caída de presión (mm.c.a.) vs. caudal (l/min)	
Término lineal	6,099
Término cuadrático	1,407
Caudal Óptimo	40 l/h m ²

Parámetros de ensayo EN-12975	
Potencia Pico (W/m ²)	1505
Capacidad térmica efectiva (J/K)	20200
Modificador del ángulo de incidencia	0,81
Constante de tiempo (s)	55
Ta estancamiento exp. (°C)	135
Ta estancamiento teórica. (°C)	165

Cap. Solar Plano Selectivo T20MS



Datos energéticos

Norma de ensayo EN -12975

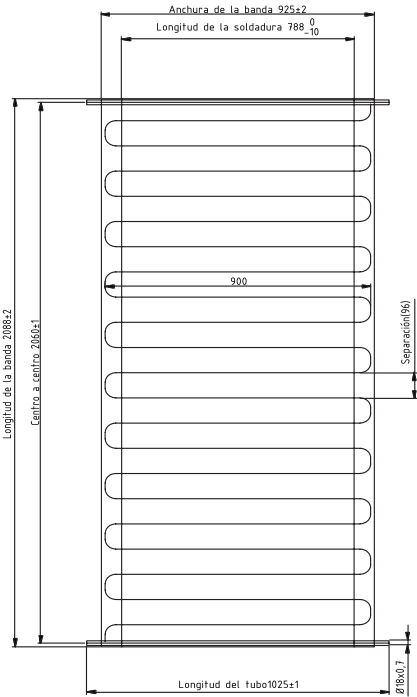
Referida al área de apertura y T_m	
Factor óptico (η_0)	0,812
Factor lineal pérdidas (a_{01}) $\text{W/m}^2\text{K}^2$	3,812
Factor cuadrático pérdidas (a_{02}) $\text{W/m}^2\text{K}^2$	0,021
Referida al área del absorbedor y T_m	
Factor óptico (η_0)	0,788
Factor lineal pérdidas (a_{01}) $\text{W/m}^2\text{K}^2$	3,701
Factor cuadrático pérdidas (a_{02}) $\text{W/m}^2\text{K}^2$	0,020

Dimensiones

Dimensiones externas	
Largo (mm)	2130
Ancho (mm)	970
Fondo (mm)	83
Área del bruta (m^2)	2,07
Área neta (m^2)	1,87
Dimensiones absorbedor	
Largo (mm)	2088
Ancho (mm)	925
Área del absorbedor (m^2)	1,93



Absorbedor	
Tipo	Monobanda
Material	Aluminio
Tipo de soldadura	Láser
Número de Pasos	21
Diámetros externos (mm)	
Tubos Colectores	18
Tubo Principal	8
Recubrimiento	
Tipo	Alto Selectivo
Material	CERMET
Aplicación	Sputtering
Absortividad	95 %
Emisividad	5%



Aislamiento	
Tipo	Manta
Material	Lana de vidrio
Dimensiones (mm)	
Largo	2100
Ancho	960
Área	2,48
Espesor	40
Conductividad (W/m2 K)	0,034

Cofre de aluminio	
Tipo	Extrusionado y Anodizado
Material	AL-6063 T5
Dimensiones (mm)	
Largo	2130
Ancho	970
Alto	83

Presiones mecánicas máximas (Pa)	
Positiva	1008
Negativa	1012

Parámetros varios	
Peso en vacío (kg)	32
Volumen interior (litros)	1,29

Caída de presión	
Caída de presión (mm.c.a.) vs. caudal (l/min)	
Término lineal	50,796
Término cuadrático	71,423
Caudal Óptimo	40 l/h m²

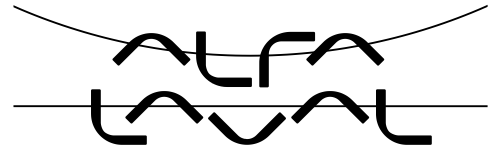
Parámetros de ensayo EN-12975	
Potencia Pico (W/m2)	1518
Capacidad térmica efectiva (J/K)	20200
Modificador del ángulo de incidencia	0,81
Constante de tiempo (s)	55
Tª estancamiento exp. (°C)	135
Tª estancamiento teórica. (°C)	165



ANEXO IV

Hojas técnicas de los equipos seleccionados en las simulaciones con AcSol: intercambiadores, bombas y acumuladores

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T5-MFG
Project: : (Untitled 0)
Item :

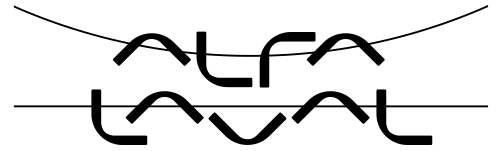
Date : 22/07/2018

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	983.5	989.8
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.17	4.18
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.650	0.634
Viscosity inlet	cP	0.465	0.654
Viscosity outlet	cP	0.506	0.592
Mass flow rate	kg/h	9264	9264
Inlet temperature	°C	60.0	40.0
Outlet temperature	°C	54.6	45.4
Pressure drop	kPa	91.5	93.5
Heat Exchanged	kW	58.00	
L.M.T.D.	K	14.6	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	7973	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	6757	
Heat transfer area	m ²	0.6	
Fouling resistance* 10000	m ² *K/W	0.23	
Duty margin	%	18.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		9	
Effective plates		7	
Number of passes		1	1
Extension capacity		11	
Plate material / thickness		ALLOY 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Connection material		Unlined	Unlined
Connection diameter		See drawing	See drawing
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		PED	
Flange rating		DIN	
Design pressure	bar	5.0	5.0
Test pressure	bar	6.5	6.5
Design temperature	°C	60.0	50.0
Overall length x width x height	mm	200 x 245 x 737	
Liquid volume	dm ³	1.42	1.42
Net weight, empty / operating	kg	68.7 / 70.7	
Packed weight(PLYWOOD BOX OCEAN LYING)	kg	87.7	
volume	m ³	0.1	
length x width x height	mm	809 x 296 x 466	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data.

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party., and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not,

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : M3-FG
Project: : (Untitled 2)
Item :

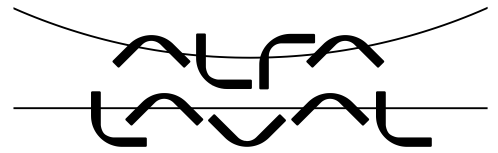
Date : 10/03/2019

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	983.4	989.8
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.17	4.18
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.650	0.634
Viscosity inlet	cP	0.465	0.654
Viscosity outlet	cP	0.505	0.594
Mass flow rate	kg/h	2560	2560
Inlet temperature	°C	60.0	40.0
Outlet temperature	°C	54.8	45.2
Pressure drop	kPa	33.4	34.9
Heat Exchanged	kW	15.44	
L.M.T.D.	K	14.8	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	6693	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	6520	
Heat transfer area	m ²	0.2	
Fouling resistance* 10000	m ² *K/W	0.040	
Duty margin	%	2.7	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		7	
Effective plates		5	
Number of passes		1	1
Extension capacity		20	
Plate material / thickness		ALLOY 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Connection material		Stainless steel	Stainless steel
Connection diameter		See drawing	See drawing
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		ALS	
Flange rating		DIN	
Design pressure	bar	5.0	5.0
Test pressure	bar	6.5	6.5
Design temperature	°C	60.0	50.0
Overall length x width x height	mm	405 x 180 x 480	
Liquid volume	dm ³	0.51	0.51
Net weight, empty / operating	kg	19.6 / 20.1	
Packed weight(PLYWOOD BOX LYING)	kg	30.6	
volume	m ³	0.1	
length x width x height	mm	695 x 235 x 610	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data.

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party., and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not,

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T2-BFG
Project: : (Untitled 0)
Item :

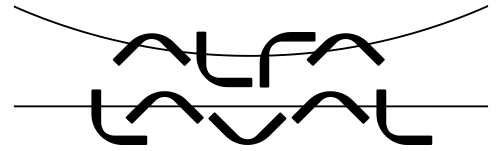
Date : 22/07/2018

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	982.6	990.5
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.17	4.18
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.652	0.631
Viscosity inlet	cP	0.403	0.801
Viscosity outlet	cP	0.562	0.532
Mass flow rate	kg/h	2316	2316
Inlet temperature	°C	70.0	30.0
Outlet temperature	°C	48.4	51.6
Pressure drop	kPa	15.0	15.4
Heat Exchanged	kW	58.00	
L.M.T.D.	K	18.4	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	7576	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	7502	
Heat transfer area	m ²	0.4	
Fouling resistance* 10000	m ² *K/W	0.013	
Duty margin	%	1.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		23	
Effective plates		21	
Number of passes		1	1
Extension capacity		2	
Plate material / thickness		ALLOY 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Connection material		Stainless steel	Stainless steel
Connection diameter		See drawing	See drawing
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		ALS	
Flange rating			
Design pressure	bar	5.0	5.0
Test pressure	bar	6.5	6.5
Design temperature	°C	70.0	55.0
Overall length x width x height	mm	165 x 140 x 380	
Liquid volume	dm ³	0.61	0.61
Net weight, empty / operating	kg	19.0 / 20.0	
Packed weight(PLYWOOD BOX LYING)	kg	29.0	
volume	m ³	0.1	
length x width x height	mm	695 x 235 x 510	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data.

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party., and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not,

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T2-BFG
Project: : (Untitled 2)
Item :

Date : 10/03/2019

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	982.4	990.7
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.17	4.18
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.652	0.631
Viscosity inlet	cP	0.403	0.801
Viscosity outlet	cP	0.554	0.539
Mass flow rate	kg/h	640.0	640.0
Inlet temperature	°C	70.0	30.0
Outlet temperature	°C	49.2	50.8
Pressure drop	kPa	12.3	7.51
Heat Exchanged	kW	15.44	
L.M.T.D.	K	19.2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	6762	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	6701	
Heat transfer area	m ²	0.1	
Fouling resistance* 10000	m ² *K/W	0.013	
Duty margin	%	0.9	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Number of plates		8	
Effective plates		6	
Number of passes		1	1
Extension capacity		17	
Plate material / thickness		ALLOY 316 / 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Connection material		Stainless steel	Stainless steel
Connection diameter		See drawing	See drawing
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Pressure vessel code		ALS	
Flange rating			
Design pressure	bar	5.0	5.0
Test pressure	bar	6.5	6.5
Design temperature	°C	70.0	55.0
Overall length x width x height	mm	165 x 140 x 380	
Liquid volume	dm ³	0.21	0.26
Net weight, empty / operating	kg	16.9 / 17.2	
Packed weight(PLYWOOD BOX LYING)	kg	26.9	
volume	m ³	0.1	
length x width x height	mm	695 x 235 x 510	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data.

Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party., and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not,

Text. prop.



Código: [97924245](#)

MAGNA3 25-60

MAGNA3 – Más que una bomba

Con una eficiencia nunca vista, una gama muy amplia y funciones adicionales de comunicación que sustituyen a sistemas de componentes, la MAGNA3 es idónea para ingenieros y especificadores que buscan incrementar el rendimiento de los edificios.

Esta excepcional bomba encaja tanto en aplicaciones de calefacción como refrigeración, siendo la elección lógica para la mayoría de los proyectos de edificación.

MAGNA3 es de tipo rotor encapsulado, es decir, la bomba y el motor forman una única unidad sin cierre mecánico y con solo dos juntas para el sellado. Los cojinetes están lubricados con el líquido bombeado.

La innovadora abrazadera con solo un tornillo permite una sustitución sencilla del cabezal de la bomba.

La bomba MAGNA3 no requiere mantenimiento y tiene un Coste del Ciclo Vital extremadamente bajo.

La bomba se caracteriza por:

- controlador integrado en la caja de control
- panel de control con una pantalla TFT en la caja de control
- caja de control preparada para módulos opcionales CIM
- sensor de presión diferencial y de temperatura incorporado
- cuerpo de la bomba en fundición (dependiendo del modelo)
- rotor en composite reforzado con fibra de carbono
- base del cojinete y recubrimiento del rotor en acero inoxidable
- cuerpo del estator en aleación de aluminio
- electrónica refrigerada por aire

La MAGNA3 es una bomba monofásica.

Funciones

- AUTOADAPT.
- FLOWADAPT y FLOWLIMIT (es más que una función de la bomba ya que reduce la necesidad de válvulas de estrangulamiento).
- Control de presión proporcional.
- Control de presión constante.
- Control de temperatura constante.
- Curva constante de trabajo.
- Curva de trabajo máx. o mín.
- Funcionamiento Nocturno Automático.
- No requiere protecciones externas del motor.
- Carcasas de aislamiento suministrada en las bombas simples para sistemas de calefacción.
- Amplio rango de temperaturas donde la temperatura del líquido y la temperatura ambiente son independientes la una de la otra.

Comunicación

La MAGNA3 permite la comunicación mediante los siguientes dispositivos:

- wireless Grundfos GO Remote
- comunicación fieldbus via módulos CIM
- entradas digital
- salidas de relé

- entrada analógica (más de una función de bomba como medidor de energía)

Motor y controlador electrónico

MAGNA3 incorpora un motor síncrono de 4 polos de imán permanente (motor PM). Este tipo de motor se caracteriza por una eficiencia superior que un motor convencional asíncrono de jaula de ardilla.

La velocidad de la bomba está controlada mediante un convertidor de frecuencia integrada.

Un sensor de presión diferencial y de temperatura se incorpora en la bomba.

Líquido:

Líquido bombeado: Agua de calefacción
Rango de temperatura del líquido: -10 .. 110 °C
Liquid temperature during operation: 60 °C
Densidad: 983.2 kg/m³
Viscosidad cinemática: 1 mm²/s

Técnico:

Caudal real calculado: 2320 l/h
Altura resultante de la bomba: 5.01 m
Clase TF: 110
Homologaciones en placa: CE, VDE, EAC, CN ROHS, WEEE

Materiales:

Cuerpo hidráulico: Fundición
EN-GJL-200
ASTM A48-200B
Impulsor: PES 30 % FIBRA VIDRIO

Instalación:


Rango de temperaturas ambientes: 0 .. 40 °C
Presión de trabajo máxima: 10 bar
Diámetro de conexiones: G 1 1/2"
Presión: PN10
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 180 mm

Datos eléctricos:

Potencia - P1: 9 .. 84 W
Frecuencia de alimentación: 50 Hz
Tensión nominal: 1 x 230 V
Consumo de corriente máximo: 0.09 .. 0.75 A
Grado de protección (IEC 34-5): X4D
Clase de aislamiento (IEC 85): F

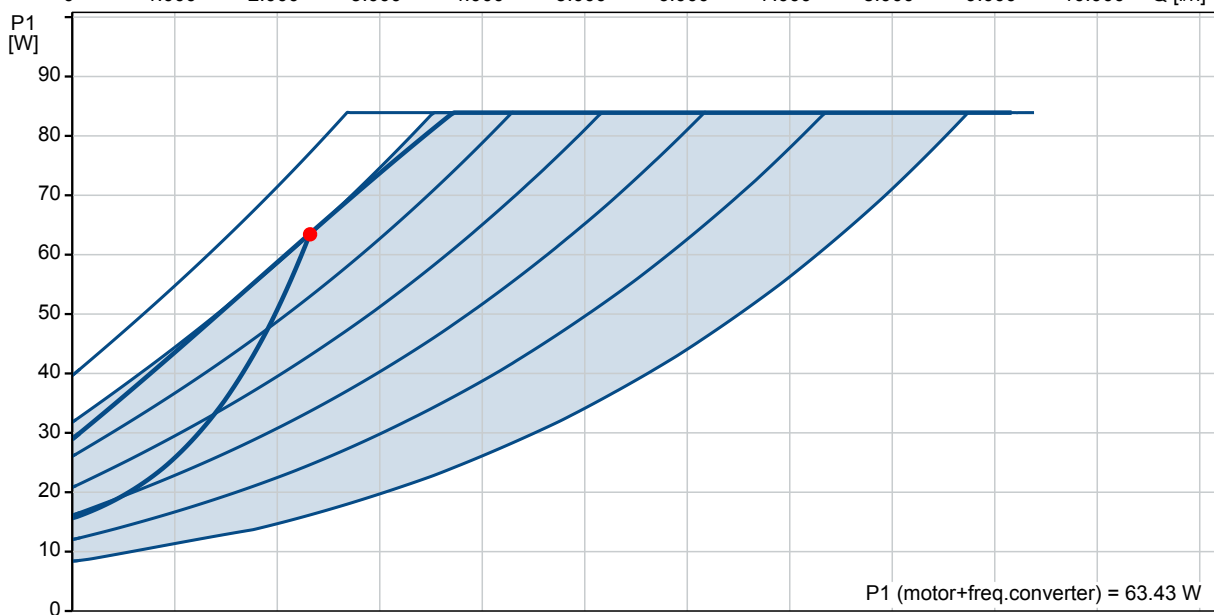
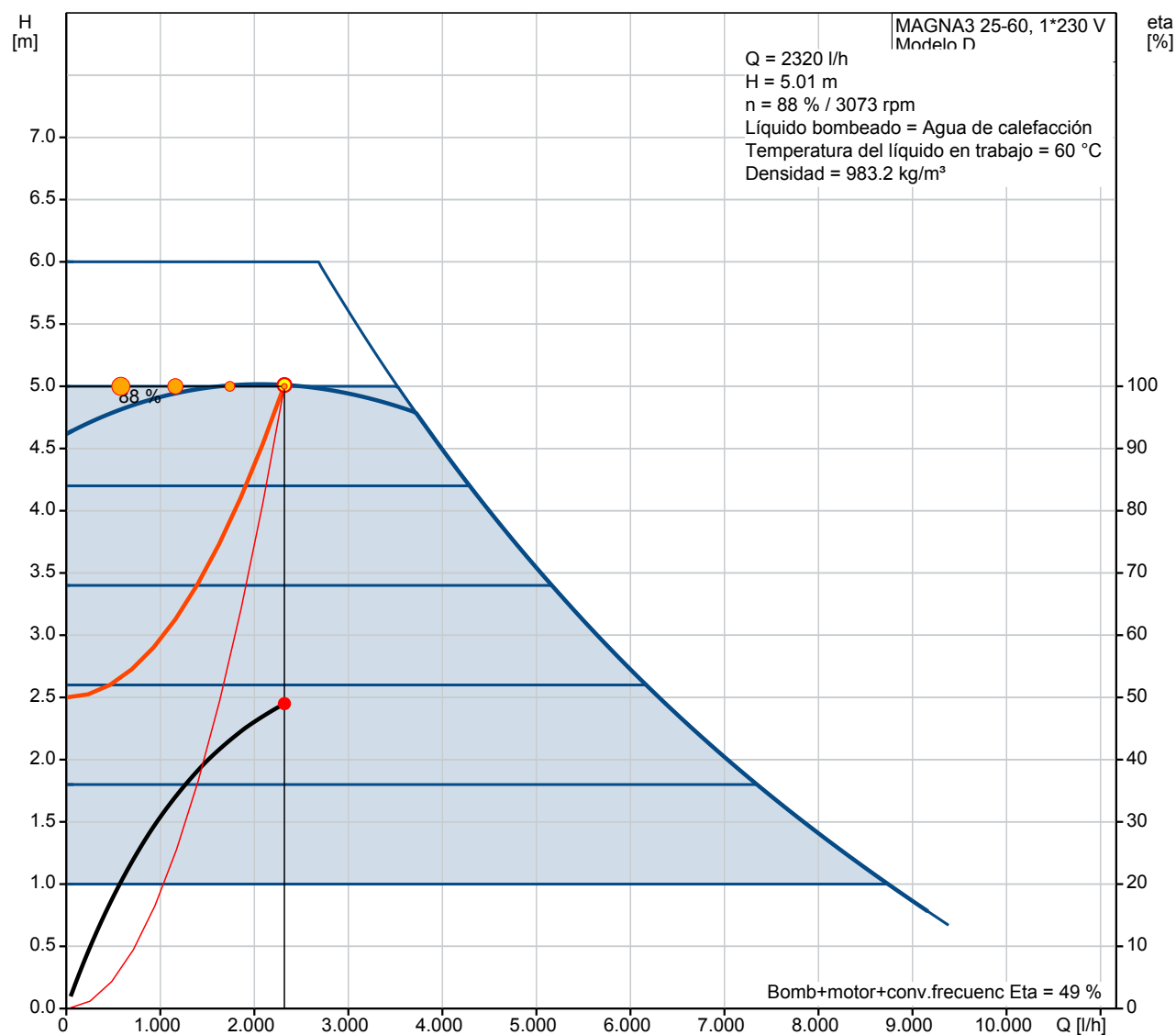
Otros:

Energía (IEE): 0.18
Peso neto: 4.81 kg
Peso bruto: 5.27 kg
Shipping volume: 0.015 m³
Danish VVS No.: 380790060
Swedish RSK No.: 5732572
Finnish: LVI NO 4615541
Norwegian NRF no.: 9042326
Country of origin: DE
Custom tariff no.: 84137030

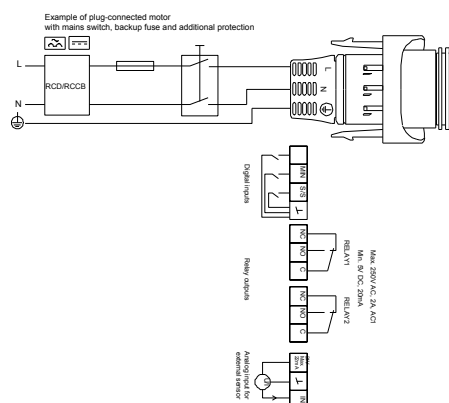
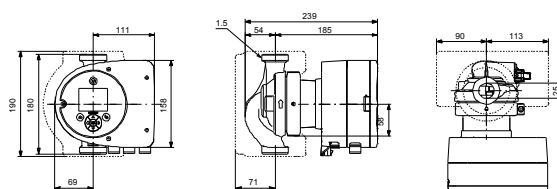
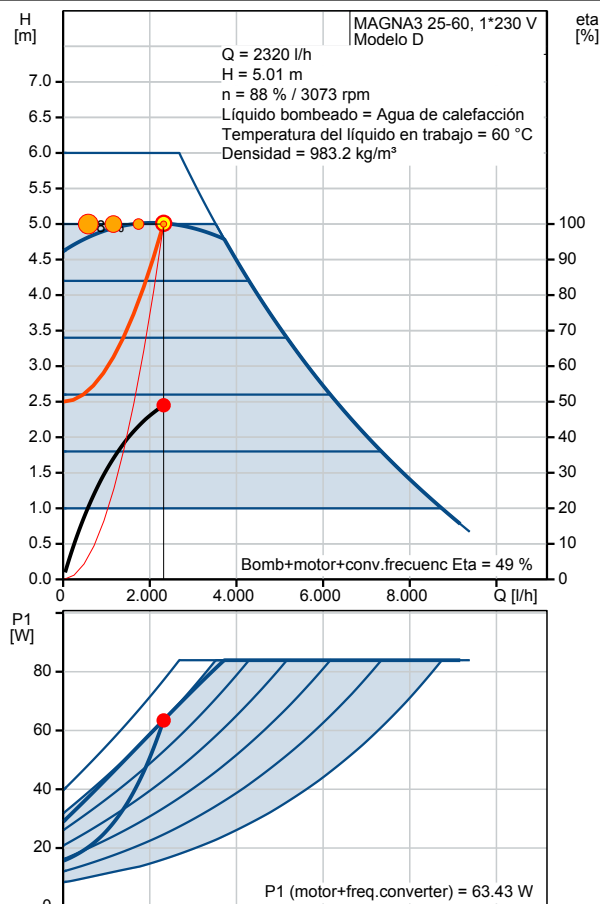
Posición	Contar	Descripción
	1	<p>MAGNA3 25-60</p>  <p>Código: 97924245</p> <p>MAGNA3 – Más que una bomba Con una eficiencia nunca vista, una gama muy amplia y funciones adicionales de comunicación que sustituyen a sistemas de componentes, la MAGNA3 es idónea para ingenieros y especificadores que buscan incrementar el rendimiento de los edificios.</p> <p>Esta excepcional bomba encaja tanto en aplicaciones de calefacción como refrigeración, siendo la elección lógica para la mayoría de los proyectos de edificación.</p> <p>MAGNA3 es de tipo rotor encapsulado, es decir, la bomba y el motor forman una única unidad sin cierre mecánico y con solo dos juntas para el sellado. Los cojinetes están lubricados con el líquido bombeado.</p> <p>La innovadora abrazadera con solo un tornillo permite una sustitución sencilla del cabezal de la bomba.</p> <p>La bomba MAGNA3 no requiere mantenimiento y tiene un Coste del Ciclo Vital extremadamente bajo.</p> <p>La bomba se caracteriza por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • controlador integrado en la caja de control • panel de control con una pantalla TFT en la caja de control • caja de control preparada para módulos opcionales CIM • sensor de presión diferencial y de temperatura incorporado • cuerpo de la bomba en fundición (dependiendo del modelo) • rotor en composite reforzado con fibra de carbono • base del cojinete y recubrimiento del rotor en acero inoxidable • cuerpo del estator en aleación de aluminio • electrónica refrigerada por aire <p>La MAGNA3 es una bomba monofásica.</p> <p>Funciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • AUTOADAPT. • FLOWADAPT y FLOWLIMIT (es más que una función de la bomba ya que reduce la necesidad de válvulas de estrangulamiento). • Control de presión proporcional. • Control de presión constante. • Control de temperatura constante. • Curva constante de trabajo. • Curva de trabajo máx. o mín. • Funcionamiento Nocturno Automático. • No requiere protecciones externas del motor. • Carcasas de aislamiento suministrada en las bombas simples para sistemas de calefacción. • Amplio rango de temperaturas donde la temperatura del líquido y la temperatura ambiente son independientes la una de la otra. <p>Comunicación La MAGNA3 permite la comunicación mediante los siguientes dispositivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wireless Grundfos GO Remote • comunicación fieldbus via módulos CIM • entradas digital

Posición	Contar	Descripción
		<ul style="list-style-type: none"> • salidas de relé • entrada analógica (más de una función de bomba como medidor de energía) <p>Motor y controlador electrónico</p> <p>MAGNA3 incorpora un motor síncrono de 4 polos de imán permanente(motor PM). Este tipo de motor se caracteriza por una eficiencia superior que un motor convencional asíncrono de jaula de ardilla.</p> <p>La velocidad de la bomba está controlada mediante un convertidor de frecuencia integrada. Un sensor de presión diferencial y de temperatura se incorpora en la bomba.</p> <p>Líquido:</p> <p>Líquido bombeado: Agua de calefacción</p> <p>Rango de temperatura del líquido: -10 .. 110 °C</p> <p>Liquid temperature during operation: 60 °C</p> <p>Densidad: 983.2 kg/m³</p> <p>Viscosidad cinemática: 1 mm²/s</p> <p>Técnico:</p> <p>Caudal real calculado: 2320 l/h</p> <p>Altura resultante de la bomba: 5.01 m</p> <p>Clase TF: 110</p> <p>Homologaciones en placa: CE,VDE,EAC,CN ROHS,WEEE</p> <p>Materiales:</p> <p>Cuerpo hidráulico: Fundición</p> <p>EN-GJL-200</p> <p>ASTM A48-200B</p> <p>Impulsor: PES 30 % FIBRA VIDRIO</p> <p>Instalación:</p> <p>Rango de temperaturas ambientes: 0 .. 40 °C</p> <p>Presión de trabajo máxima: 10 bar</p> <p>Diámetro de conexiones: G 1 1/2"</p> <p>Presión: PN10</p> <p>Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 180 mm</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Potencia - P1: 9 .. 84 W</p> <p>Frecuencia de alimentación: 50 Hz</p> <p>Tensión nominal: 1 x 230 V</p> <p>Consumo de corriente máximo: 0.09 .. 0.75 A</p> <p>Grado de protección (IEC 34-5): X4D</p> <p>Clase de aislamiento (IEC 85): F</p> <p>Otros:</p> <p>Energía (IEE): 0.18</p> <p>Peso neto: 4.81 kg</p> <p>Peso bruto: 5.27 kg</p> <p>Shipping volume: 0.015 m³</p> <p>Danish VVS No.: 380790060</p> <p>Swedish RSK No.: 5732572</p> <p>Finnish: LVI NO 4615541</p> <p>Norwegian NRF no.: 9042326</p> <p>Country of origin: DE</p> <p>Custom tariff no.: 84137030</p>

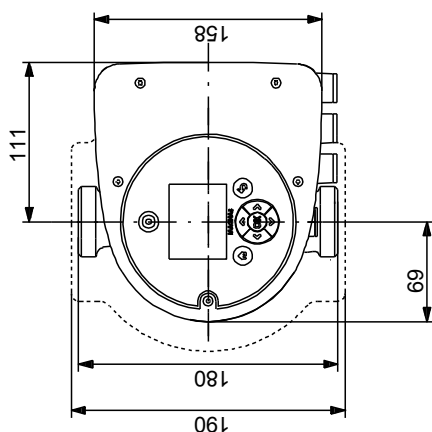
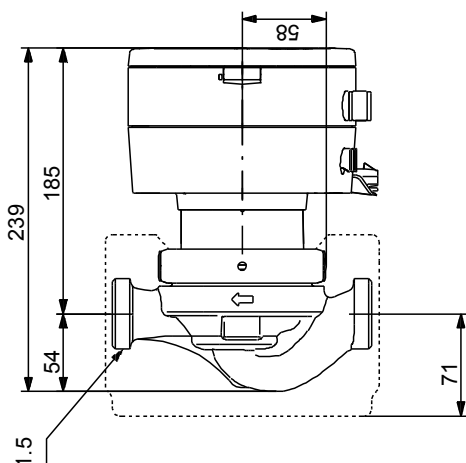
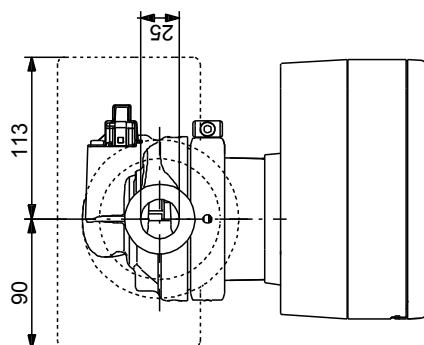
97924245 MAGNA3 25-60 50 Hz



Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	MAGNA3 25-60
Código::	97924245
Número EAN::	5710626493203
Precio:	983,00 EUR €
Técnico:	
Caudal real calculado:	2320 l/h
Altura resultante de la bomba:	5.01 m
Altura máxima:	60 dm
Clase TF:	110
Homologaciones en placa:	CE,VDE,EAC,CN ROHS,WEEE
Modelo:	D
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Fundición
	EN-GJL-200
	ASTM A48-200B
Impulsor:	PES 30 % FIBRA VIDRIO
Instalación:	
Rango de temperaturas ambientes:	0 .. 40 °C
Presión de trabajo máxima:	10 bar
Diámetro de conexiones:	G 1 1/2"
Presión:	PN10
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga:	180 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua de calefacción
Rango de temperatura del líquido:	-10 .. 110 °C
Liquid temperature during operation:	60 °C
Densidad:	983.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Potencia - P1:	9 .. 84 W
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	1 x 230 V
Consumo de corriente máximo:	0.09 .. 0.75 A
Grado de protección (IEC 34-5):	X4D
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Otros:	
Energía (IEE):	0.18
Peso neto:	4.81 kg
Peso bruto:	5.27 kg
Shipping volume:	0.015 m³
Danish VVS No.:	380790060
Swedish RSK No.:	5732572
Finnish:	LVI NO 4615541
Norwegian NRF no.:	9042326
Country of origin:	DE
Custom tariff no.:	84137030



97924245 MAGNA3 25-60 50 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

97924245 MAGNA3 25-60 50 Hz

Entrada

General

Aplicación	Calefacción
Área de aplicación	Edificios comerciales
Tipo de instalación	Distribución
Instalación	Bomba circuladora principal
Caudal (Q)	2320 l/h
Altura (H)	5 m
Prefer fast delivery	No

Sus requisitos

Líquido bombeado	Agua de calefacción
Temperatura mínima del líquido	20 °C
Temperatura máxima del líquido	60 °C
Temperatura del líquido en trabajo	60 °C
Presión máxima de trabajo	10 bar
Presión de entrada mínima	1.5 bar
Caudal min. permitido	10 %

Modo de control

Modo de control	Presión Proporcional
Disminuye a bajo caudal	50 %
Grado de protección	IP20

Edite Perfil de Carga

Temporada de calefacción	285 días
Perfil de consumo	Explotación estándar

Configuración

Seleccione el tipo de hidráulica	Paralelo
Número total de bombas	1

Diseño de la bomba

Material de la bomba	Cast iron or stainless steel
----------------------	------------------------------

Condiciones de funcionamiento

Frecuencia	50 Hz
Fase	1 o 3
Límite min. de potencia para arranque est./triang.	5.5 kW
tension	1 x 230 o 3 x 400 V
Temperatura ambiente	20 °C

Ajustes de la lista de selección

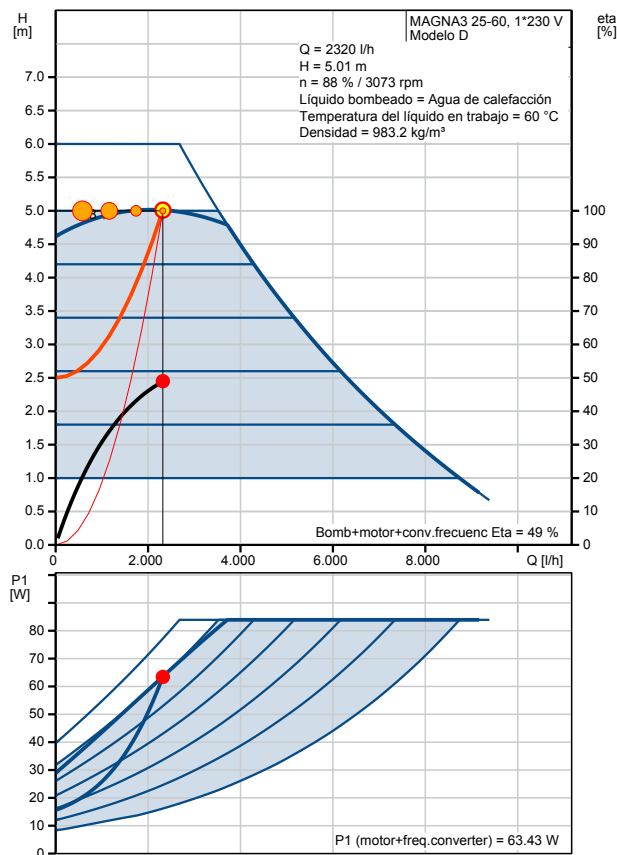
Precio de energía	0.22 €/kWh
Incremento del precio de la energía	6 %
Periodo de cálculo	15 años

Perfil func.

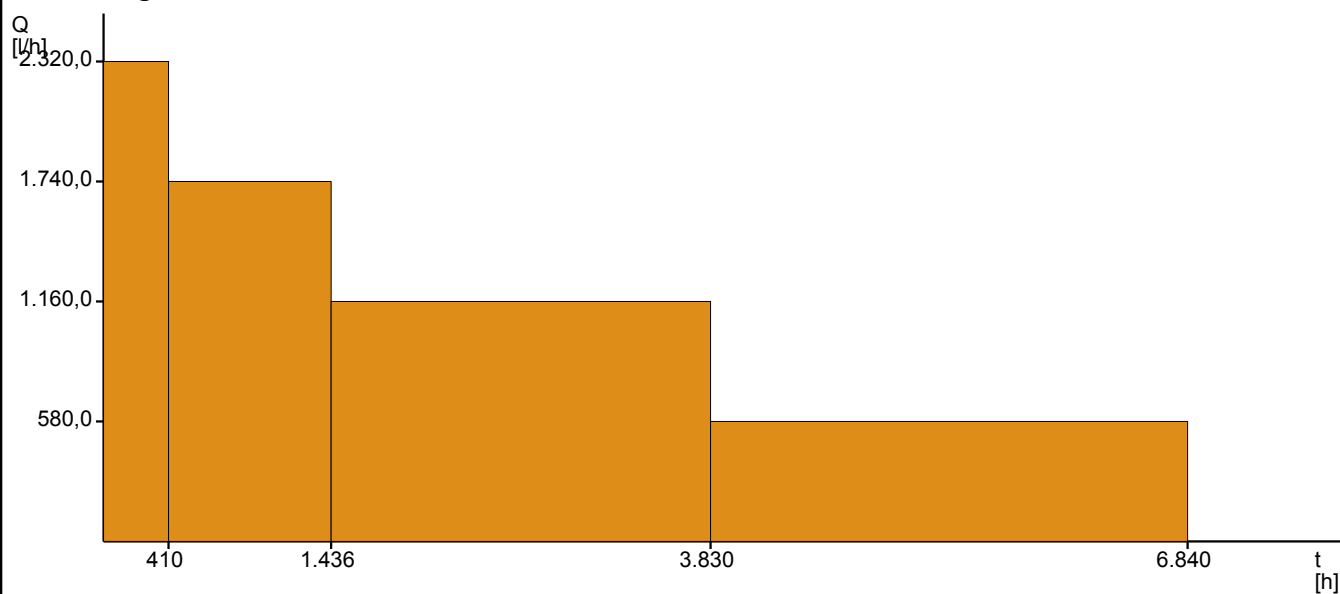
	1	2	3	4	
Caudal	100	75	50	25	%
Alt.	100	100	100	100	%
P1	0.063	0.055	0.047	0.039	kW
Total Eta	49.0	42.6	33.4	19.9	%
Time	410	1026	2394	3010	h/a
Consumo energía	26	56	111	117	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	

Resultado de la selección

Tipo	MAGNA3 25-60
Cantidad	1
Motor	
Caudal	2320 l/h
Alt.	5.01 m
Entrad presión mín	0.2 bar (60 °C, contra la atmosfera)
Pot. P1	0.063 kW
Bomb+motor Eta	49.0 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	49.0 % =Eta relativa punto de trabajo
Consumo energía	311 kWh/Año
Emisión CO2	177 kg/Año
Prec.	983,00 EUR €
Precio+Costes energ.	2621.76 € /15Años
Cte ciclo vital	2622 € /15Años




Perfil carga



	1	2	3	4	
Caud	100	75	50	25	%
Alt.	100	100	100	100	%
P1	0.063	0.055	0.047	0.039	kW
Total Eta	49.0	42.6	33.4	19.9	%
Time	410	1026	2394	3010	h/a
Consumo energía	26	56	111	117	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	1	

Altura total 5 m

Caudal requerido 2320 l/h

Contar	Descripción
1	<p>ALPHA SOLAR 25-145 180</p>  <p>Código: 98989297</p> <p>La nueva ALPHA SOLAR está diseñada para integrarse en todo tipo de sistemas solares térmicos con caudal variable (caudal combinado) o caudal constante. Bombas de alta eficiencia ECM (Motor Electrónico de Conmutación), no deben controlarse mediante un controlador externo de velocidad que varía la velocidad o la tensión de alimentación.</p> <p>La velocidad puede controlarse mediante una señal PWM (modulación de ancho de pulso) de un controlador solar para optimizar la recolección solar y la temperatura del sistema. Como resultado, el consumo de energía de la bomba se reducirá considerablemente.</p> <p>Si no hay señal PWM disponible, ALPHA SOLAR se puede configurar a velocidad constante, solo se enciende y apaga por el controlador.</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad constante. • Perfil PWM A. La señal PWM es un método para generar una señal analógica usando una fuente digital. • Bajo EEI (Índice de Eficiencia Energética) • Sin mantenimiento. • Bajo nivel de ruido. • Instalación muy simple. <p>Líquido:</p> <p>Líquido bombeado: Agua</p> <p>Rango de temperatura del líquido: 2 .. 110 °C</p> <p>Liquid temperature during operation: 60 °C</p> <p>Densidad: 983.2 kg/m³</p> <p>Técnico:</p> <p>Clase TF: 110</p> <p>Homologaciones en placa: CE,EAC</p> <p>Materiales:</p> <p>Cuerpo hidráulico: Fundición</p> <p>Instalación:</p> <p>Temperatura ambiental máxima: 70 °C</p> <p>Presión de trabajo máxima: 10 bar</p> <p>Diámetro de conexiones: G 1 1/2</p> <p>Presión: PN 10</p> <p>Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 180 mm</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Potencia - P1: 2 .. 60 W</p> <p>Frecuencia de alimentación: 50 Hz</p> <p>Tensión nominal: 1 x 230 V</p> <p>Consumo de corriente máximo: 0.04 .. 0.58 A</p> <p>Grado de protección (IEC 34-5): X4D</p> <p>Clase de aislamiento (IEC 85): F</p>

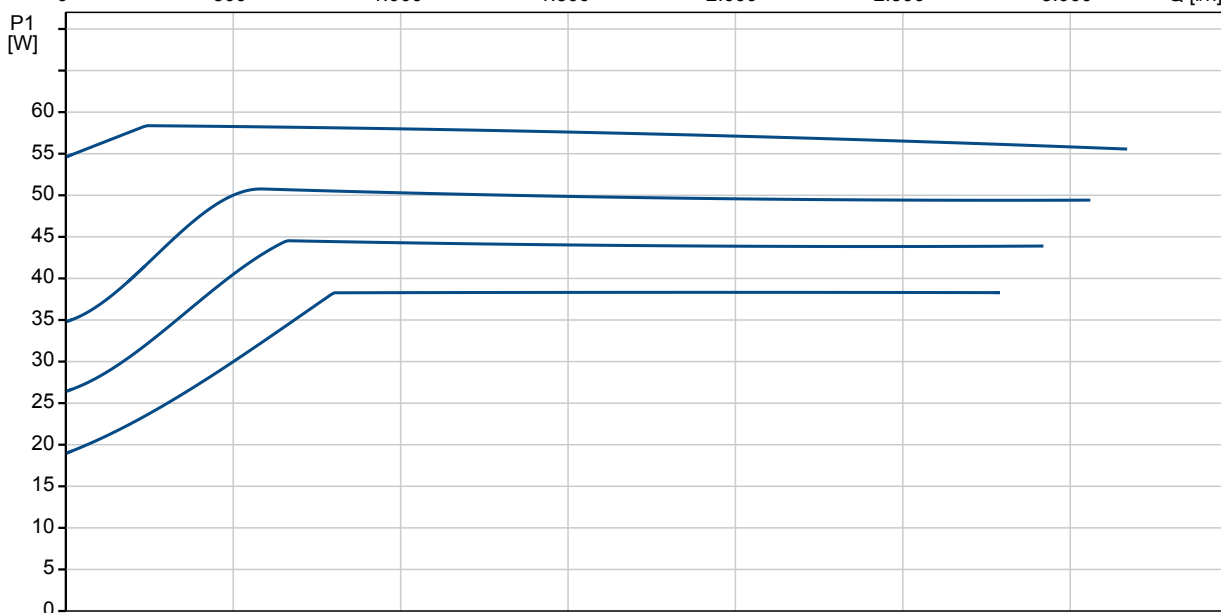
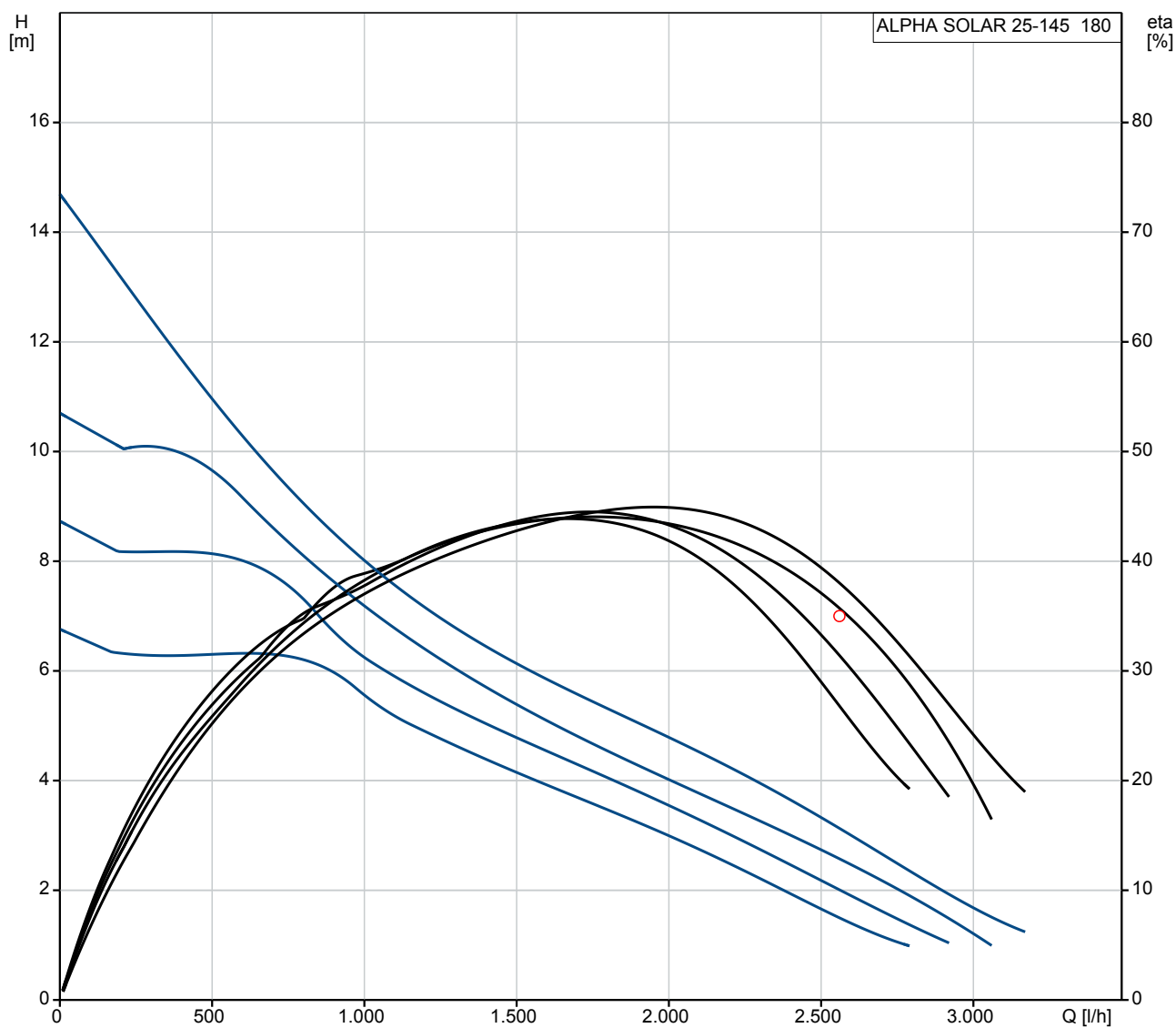


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

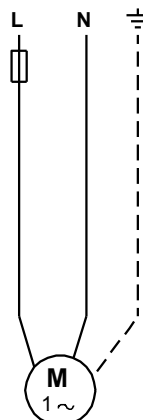
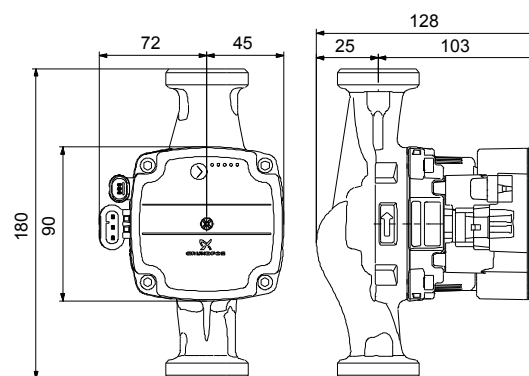
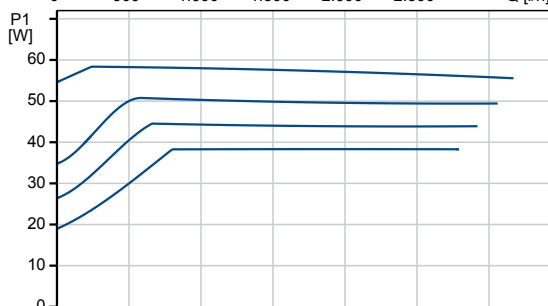
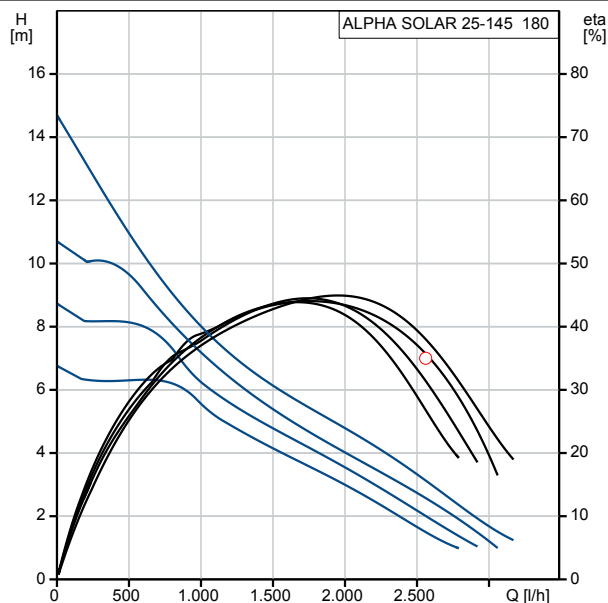
Datos: 05/03/2019

Contar	Descripción												
	<p>Otros:</p> <table><tr><td>Energía (IEE):</td><td>0.20</td></tr><tr><td>Peso neto:</td><td>2.01 kg</td></tr><tr><td>Peso bruto:</td><td>2.13 kg</td></tr><tr><td>Volumen:</td><td>0.004 m3</td></tr><tr><td>Country of origin:</td><td>DK</td></tr><tr><td>Custom tariff no.:</td><td>84137030</td></tr></table>	Energía (IEE):	0.20	Peso neto:	2.01 kg	Peso bruto:	2.13 kg	Volumen:	0.004 m3	Country of origin:	DK	Custom tariff no.:	84137030
Energía (IEE):	0.20												
Peso neto:	2.01 kg												
Peso bruto:	2.13 kg												
Volumen:	0.004 m3												
Country of origin:	DK												
Custom tariff no.:	84137030												

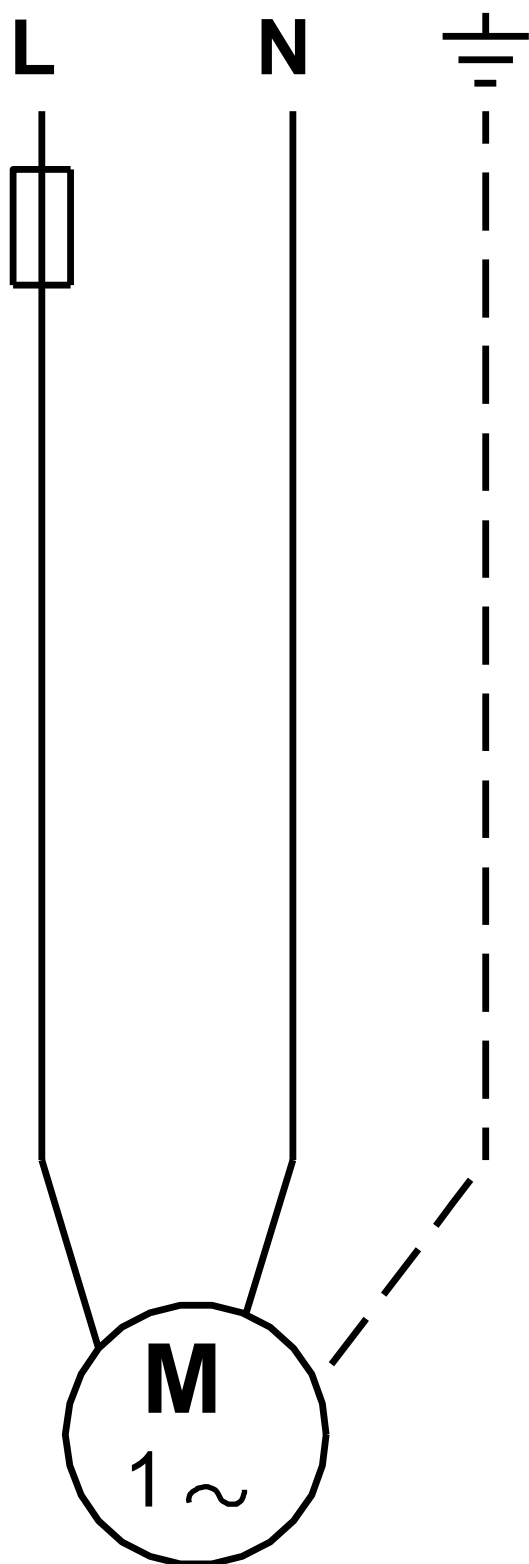
98989297 ALPHA SOLAR 25-145 180 50 Hz




Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	ALPHA SOLAR 25-145 180
Código::	98989297
Número EAN::	5712604776643
Precio:	639,00 €
Técnico:	
Altura máxima:	145 dm
Clase TF:	110
Homologaciones en placa:	CE,EAC
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Fundición
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	70 °C
Presión de trabajo máxima:	10 bar
Diámetro de conexiones:	G 1 1/2
Presión:	PN 10
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga:	180 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua
Rango de temperatura del líquido:	2 .. 110 °C
Liquid temperature during operation:	60 °C
Densidad:	983.2 kg/m³
Datos eléctricos:	
Potencia - P1:	2 .. 60 W
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	1 x 230 V
Consumo de corriente máximo:	0.04 .. 0.58 A
Grado de protección (IEC 34-5):	X4D
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Paneles control:	
Posición caja de terminales:	9H
Otros:	
Energía (IEE):	0.20
Peso neto:	2.01 kg
Peso bruto:	2.13 kg
Volumen:	0.004 m³
Country of origin:	DK
Custom tariff no.:	84137030



98989297 ALPHA SOLAR 25-145 180 50 Hz



¡Nota! Uds en [mm] a menos que otras estén expresadas

Posición	Contar	Descripción
	1	<p>ALPHA SOLAR 15-75 130</p>  <p>Código: 98989298</p> <p>La nueva ALPHA SOLAR está diseñada para integrarse en todo tipo de sistemas solares térmicos con caudal variable (caudal combinado) o caudal constante. Bombas de alta eficiencia ECM (Motor Electrónico de Conmutación), no deben controlarse mediante un controlador externo de velocidad que varía la velocidad o la tensión de alimentación.</p> <p>La velocidad puede controlarse mediante una señal PWM (modulación de ancho de pulso) de un controlador solar para optimizar la recolección solar y la temperatura del sistema. Como resultado, el consumo de energía de la bomba se reducirá considerablemente.</p> <p>Si no hay señal PWM disponible, ALPHA SOLAR se puede configurar a velocidad constante, solo se enciende y apaga por el controlador.</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad constante. • Perfil PWM A. La señal PWM es un método para generar una señal analógica usando una fuente digital. • Bajo EEI (Índice de Eficiencia Energética) • Sin mantenimiento. • Bajo nivel de ruido. • Instalación muy simple. <p>Líquido:</p> <p>Líquido bombeado: Agua de calefacción Rango de temperatura del líquido: 2 .. 110 °C Liquid temperature during operation: 60 °C Densidad: 983.2 kg/m³ Viscosidad cinemática: 1 mm²/s</p> <p>Técnico:</p> <p>Caudal real calculado: 691.3 l/h Altura resultante de la bomba: 3.5 m Clase TF: 110 Homologaciones en placa: CE, EAC</p> <p>Materiales:</p> <p>Cuerpo hidráulico: Fundición</p> <p>Instalación:</p> <p>Temperatura ambiental máxima: 70 °C Presión de trabajo máxima: 10 bar Diámetro de conexiones: G 1 Presión: PN 10 (@): 130 mm</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Potencia - P1: 2 .. 45 W Frecuencia de alimentación: 50 Hz</p>

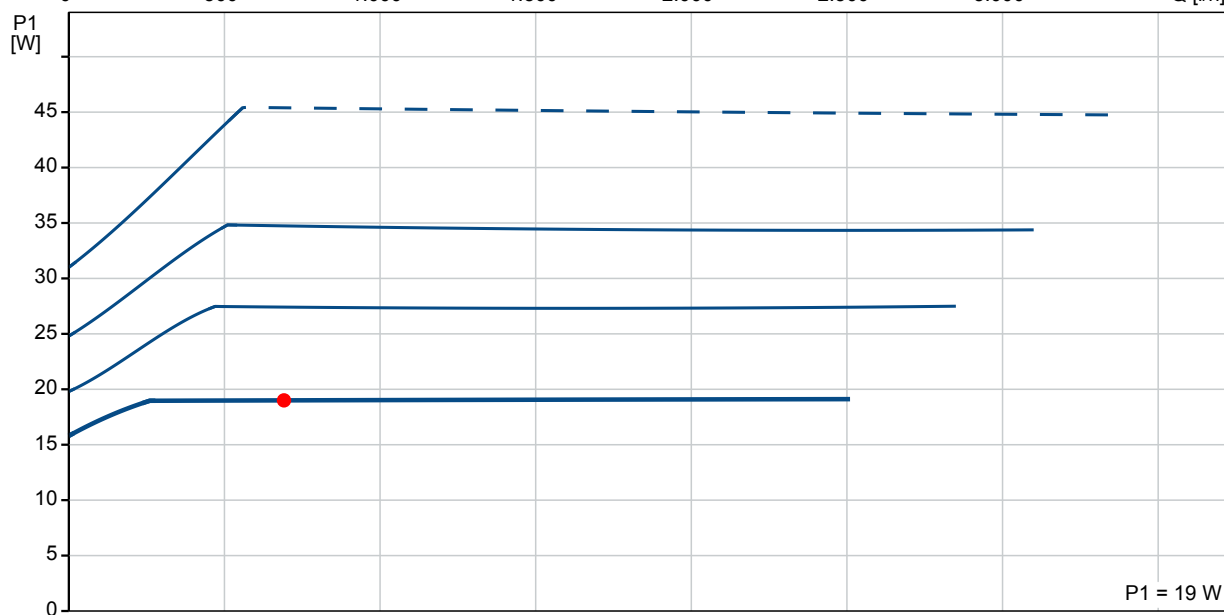
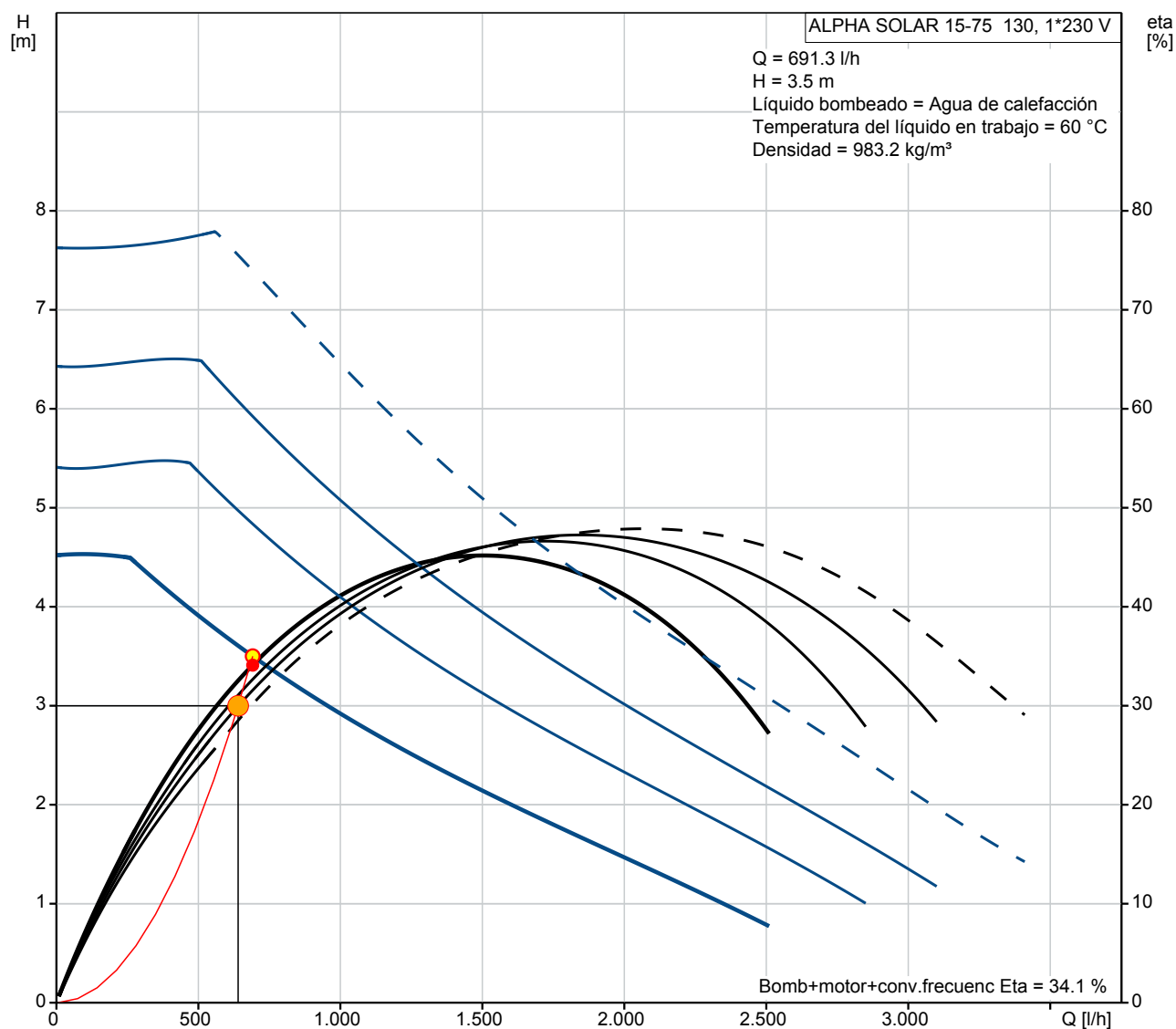


Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

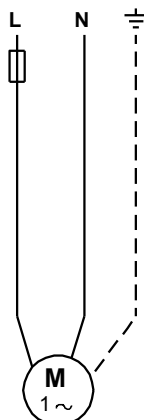
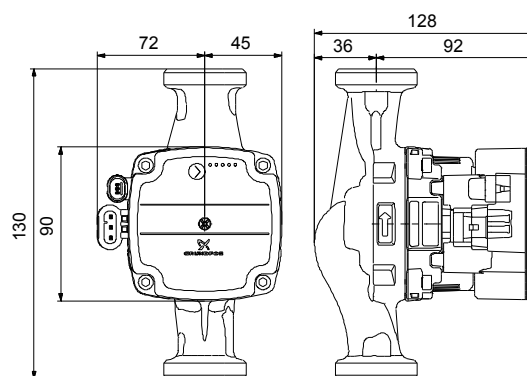
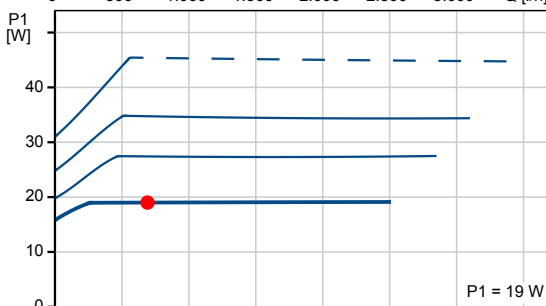
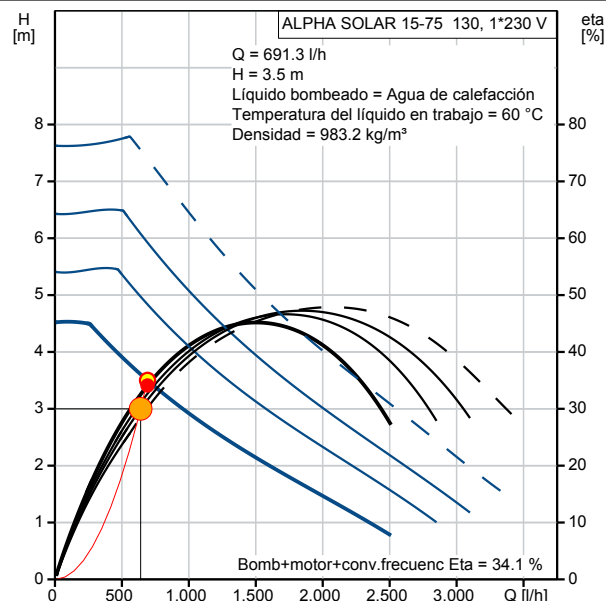
Datos: 16/10/2018

Posición	Contar	Descripción
		<p>Tensión nominal: 1 x 230 V Consumo de corriente máximo: 0.04 .. 0.48 A Grado de protección (IEC 34-5): X4D Clase de aislamiento (IEC 85): F</p> <p>Otros: Energía (IEE): 0.20 Peso neto: 1.88 kg Peso bruto: 2.07 kg Volumen: 0.004 m3 Country of origin: DK Custom tariff no.: 84137030</p>

98989298 ALPHA SOLAR 15-75 130 50 Hz



Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	ALPHA SOLAR 15-75 130
Código::	98989298
Número EAN::	5712604776650
Precio:	546,00 €
Técnico:	
Caudal real calculado:	691.3 l/h
Altura resultante de la bomba:	3.5 m
Altura máxima:	75 dm
Clase TF:	110
Homologaciones en placa:	CE,EAC
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Fundición
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	70 °C
Presión de trabajo máxima:	10 bar
Diámetro de conexiones:	G 1
Presión:	PN 10
(@)	130 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua de calefacción
Rango de temperatura del líquido:	2 .. 110 °C
Liquid temperature during operation:	60 °C
Densidad:	983.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Potencia - P1:	2 .. 45 W
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	1 x 230 V
Consumo de corriente máximo:	0.04 .. 0.48 A
Grado de protección (IEC 34-5):	X4D
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Paneles control:	
Posición caja de terminales:	9H
Otros:	
Energía (IEE):	0.20
Peso neto:	1.88 kg
Peso bruto:	2.07 kg
Volumen:	0.004 m³
Country of origin:	DK
Custom tariff no.:	84137030



98989298 ALPHA SOLAR 15-75 130 50 Hz

Entrada

General

Aplicación: Calefacción
Área de aplicación: Viviendas
Tipo de instalación: Solar
Caudal (Q): 640 l/h
Altura (H): 3 m
Prefer fast delivery: No

Sus requisitos

Líquido bombeado: Agua de calefacción

Temperatura mínima del líquido: 20 °C
Temperatura máxima del líquido: 60 °C
Temperatura del líquido en trabajo: 60 °C
Horas de funcionamiento de la bomba: 6840.00 h/a
Presión de entrada mínima: 1.5 bar
Caudal min. permitido: 10 %

Condiciones de funcionamiento

Frecuencia: 50 Hz
Fase: 1 o 3
Límite min. de potencia para arranque est./triang.: 5.5 kW
tension: 1 x 230 o 3 x 400 V
Temperatura ambiente: 20 °C

Ajustes de la lista de selección

Precio de energía: 0.22 €/kWh
Incremento del precio de la energía: 6 %
Periodo de cálculo: 15 años

Perfil func.

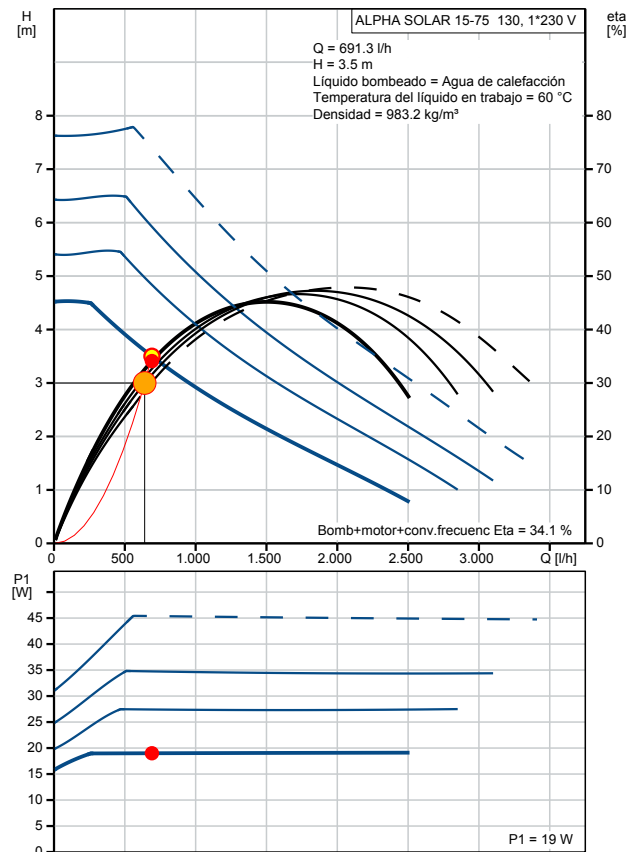
	1	
Caud	100	%
Alt.	120	%
P1	0.019	kW
Total Eta	32.5	%
Time	6840	h/a
Consumo energía	130	kWh/Año
Cantidad	1	


Resultado de la selección

Tipo: ALPHA SOLAR 15-75 130
Cantidad: 1
Caud: 691.3 l/h (+8%)
Alt.: 3.5 m (+17%)
Entrad presión mín: 0.2 bar (60 °C, contra la atmosfera)

Pot. P1: 0.019 kW
Bomb+motor Eta: 34.1 % = Bomba Eta * motor Eta
Total Eta: 34.1 % = Eta relativa punto de trabajo

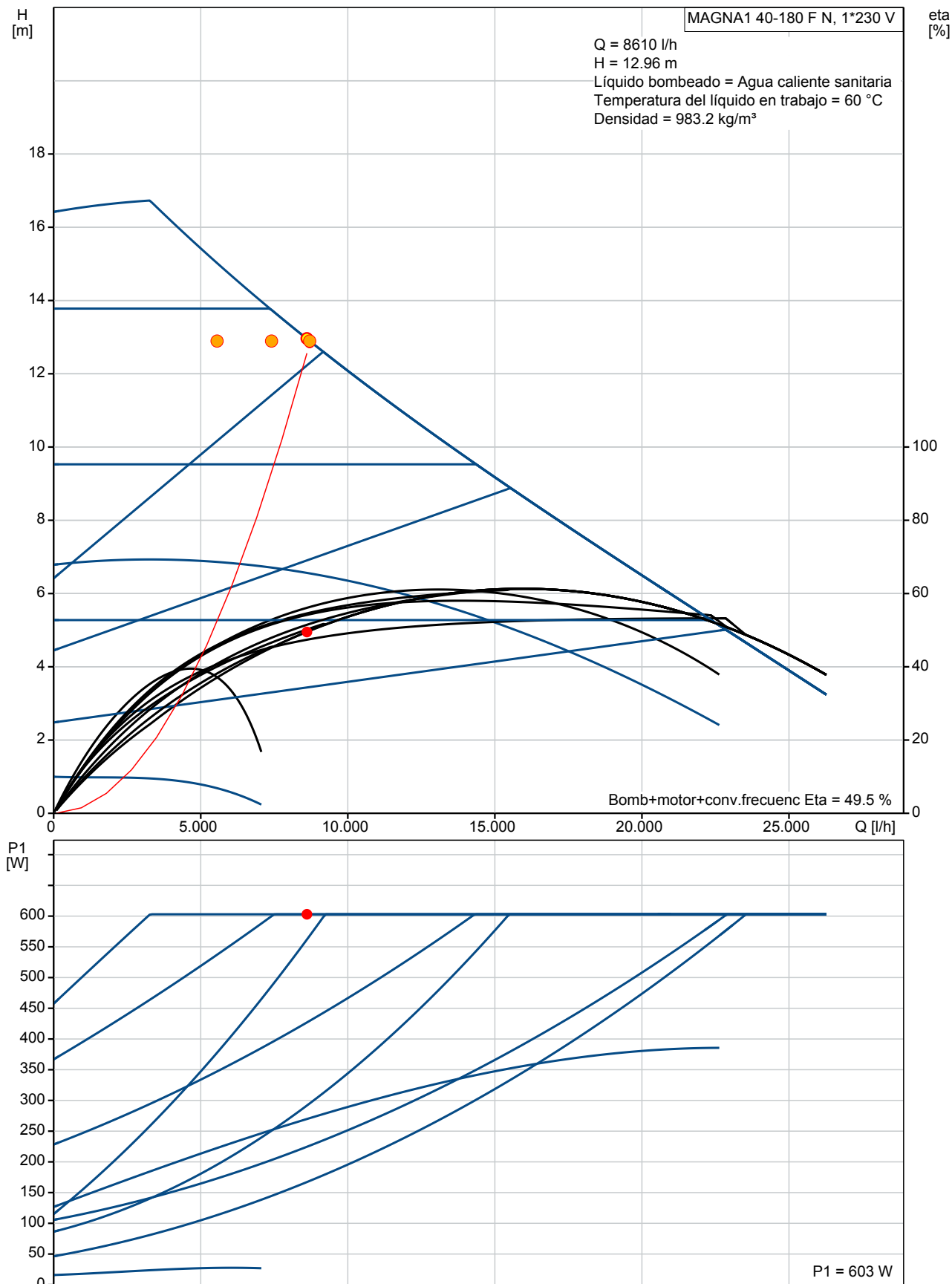
Consumo energía: 130 kWh/Año
Emisión CO2: 74 kg/Año
Prec.: 546,00 €
Cte ciclo vital: 1231 € / 15Años



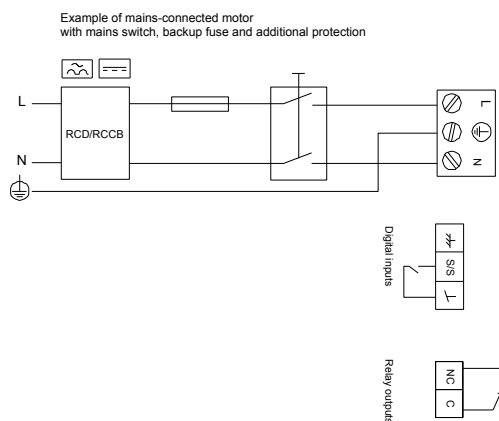
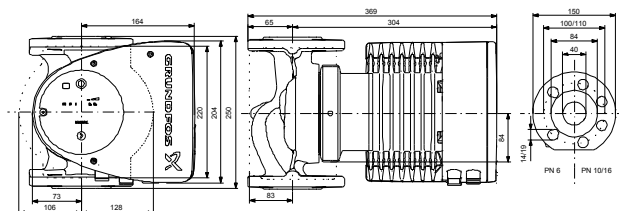
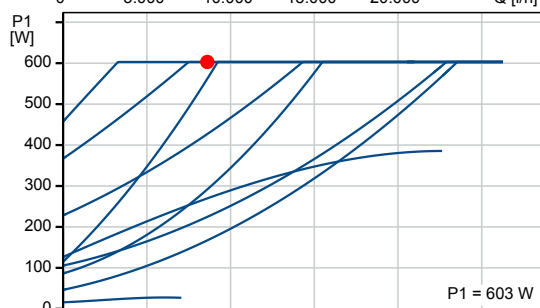
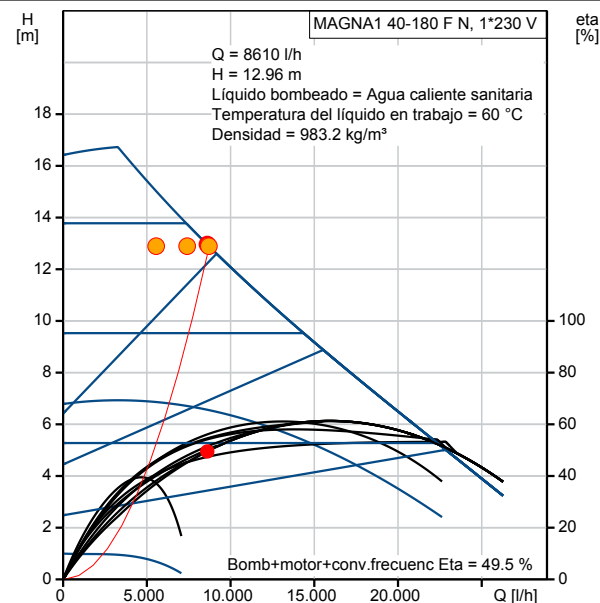
Posición	Contar	Descripción
	1	<p>MAGNA1 40-180 F N</p>  <p>Código: 99221327</p> <p>La nueva MAGNA1 es la opción más sencilla para un trabajo bien hecho. Es la elección perfecta cuando se sustituye una bomba antigua y, gracias a que cumple con la normativa EuP 2015, se consigue un importante ahorro eléctrico. Es la solución ideal para necesidades de rendimiento básicas en aplicaciones donde se requiere un sistema de control y monitorización básico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorización mediante relé de fallo. • Entrada digital arranque/parada disponible para control remoto de la bomba. • Funcionamiento continuo y tiempos de parada reducidos con la función wireless de bomba doble (disponible en bombas dobles). • Alta eficiencia que garantiza un ahorro de electricidad sustancial. • Sencillo ajuste y funcionamiento mediante la sencilla interfaz. • Sin mantenimiento gracias al diseño tipo rotor encapsulado. <p>MAGNA1 es la solución más sencilla y eficiente para la mayoría de aplicaciones incluyendo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calefacción <ul style="list-style-type: none"> - Bomba principal - Bucles de mezcla - Superficies de calefacción • Refrigeración <ul style="list-style-type: none"> - Superficies de aire acondicionado - Sistemas de bombeo de geotermia - Pequeñas aplicaciones de enfriadoras <p>Líquido: Líquido bombeado: Agua caliente sanitaria Rango de temperatura del líquido: -10 .. 110 °C Liquid temperature during operation: 60 °C Densidad: 983.2 kg/m³ Viscosidad cinemática: 1 mm²/s</p> <p>Técnico: Caudal real calculado: 8610 l/h Altura resultante de la bomba: 12.96 m Clase TF: 110 Homologaciones en placa: CE,VDE,EAC,CN ROHS,WEEE</p> <p>Materiales: Cuerpo hidráulico: Acero inoxidable EN 1.4308 ASTM 351 CF8 Impulsor: PES 30 % FIBRA VIDRIO</p> <p>Instalación: Rango de temperaturas ambientes: 0 .. 40 °C Presión de trabajo máxima: 10 bar Tipo de brida: DIN Diámetro de conexiones: DN 40 Presión: PN6/10</p>

Posición	Contar	Descripción
		<p>Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 250 mm</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Potencia - P1: 16.01 .. 615 W</p> <p>Frecuencia de alimentación: 50 Hz</p> <p>Tensión nominal: 1 x 230 V</p> <p>Consumo de corriente máximo: 0.22 .. 2.71 A</p> <p>Grado de protección (IEC 34-5): X4D</p> <p>Clase de aislamiento (IEC 85): F</p> <p>Otros:</p> <p>Energía (IEE): 0.20</p> <p>Peso neto: 16.9 kg</p> <p>Peso bruto: 18.2 kg</p> <p>Shipping volume: 0.039 m3</p> <p>Country of origin: DE</p> <p>Custom tariff no.: 84137030</p>

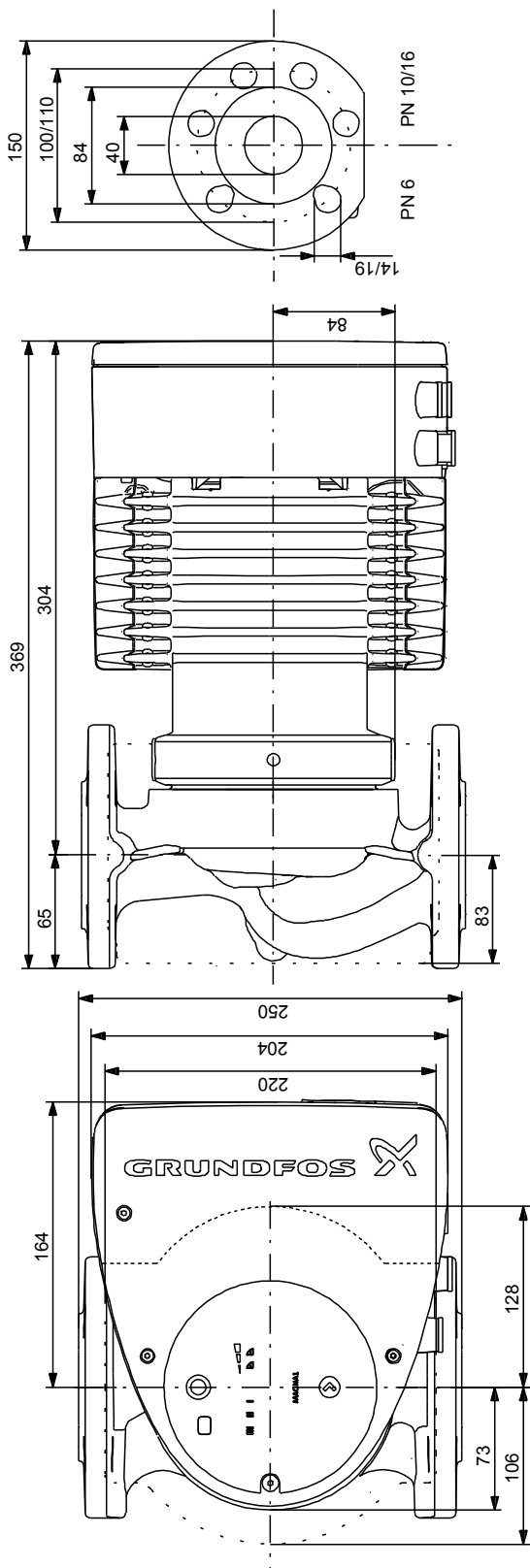
99221327 MAGNA1 40-180 F N 50 Hz



Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	MAGNA1 40-180 F N
Código::	99221327
Número EAN::	5712608943003
Precio:	3.808,00 EUR €
Técnico:	
Caudal real calculado:	8610 l/h
Altura resultante de la bomba:	12.96 m
Altura máxima:	180 dm
Clase TF:	110
Homologaciones en placa:	CE,VDE,EAC,CN ROHS,WEEE
Modelo:	C
Materiales:	
Cuerpo hidráulico:	Acero inoxidable
	EN 1.4308
	ASTM 351 CF8
Impulsor:	PES 30 % FIBRA VIDRIO
Instalación:	
Rango de temperaturas ambientes:	0 .. 40 °C
Presión de trabajo máxima:	10 bar
Tipo de brida:	DIN
Diámetro de conexiones:	DN 40
Presión:	PN6/10
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga:	250 mm
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua caliente sanitaria
Rango de temperatura del líquido:	-10 .. 110 °C
Liquid temperature during operation:	60 °C
Densidad:	983.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos:	
Potencia - P1:	16.01 .. 615 W
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	1 x 230 V
Consumo de corriente máximo:	0.22 .. 2.71 A
Grado de protección (IEC 34-5):	X4D
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Otros:	
Energía (IEE):	0.20
Peso neto:	16.9 kg
Peso bruto:	18.2 kg
Shipping volume:	0.039 m3
Country of origin:	DE
Custom tariff no.:	84137030



99221327 MAGNA1 40-180 F N 50 Hz



Nota: Todas las unidades están en [mm] a menos que se establezcan otras.

99221327 MAGNA1 40-180 F N 50 Hz

Entrada

General

Aplicación	Calefacción
Área de aplicación	Edificios comerciales
Tipo de instalación	Agua caliente sanitaria
Instalación	Recirculación de agua caliente sanitaria
Caudal (Q)	9260 l/h
Altura (H)	14.5 m
Prefer fast delivery	No

Sus requisitos

Temperatura del líquido en trabajo	60 °C
Temperatura máxima del líquido	60 °C
Presión máxima de trabajo	10 bar
Presión de entrada mínima	1.5 bar
Caudal min. permitido	10 %

Modo de control

Modo de control	No controlada
-----------------	---------------

Edite Perfil de Carga

Temporada de calefacción	285 días
Perfil de consumo	Explotación estándar
Funcionamiento nocturno	No

Diseño de la bomba

Material de la bomba	Cast iron or stainless steel
----------------------	------------------------------

Condiciones de funcionamiento

Frecuencia	50 Hz
Fase	1 o 3
Límite min. de potencia para arranque est./triáng.	5.5 kW
tension	1 x 230 o 3 x 400 V
Temperatura ambiente	20 °C

Ajustes de la lista de selección

Precio de energía	0.22 €/kWh
Incremento del precio de la energía	6 %
Periodo de cálculo	15 años

Perfil func.

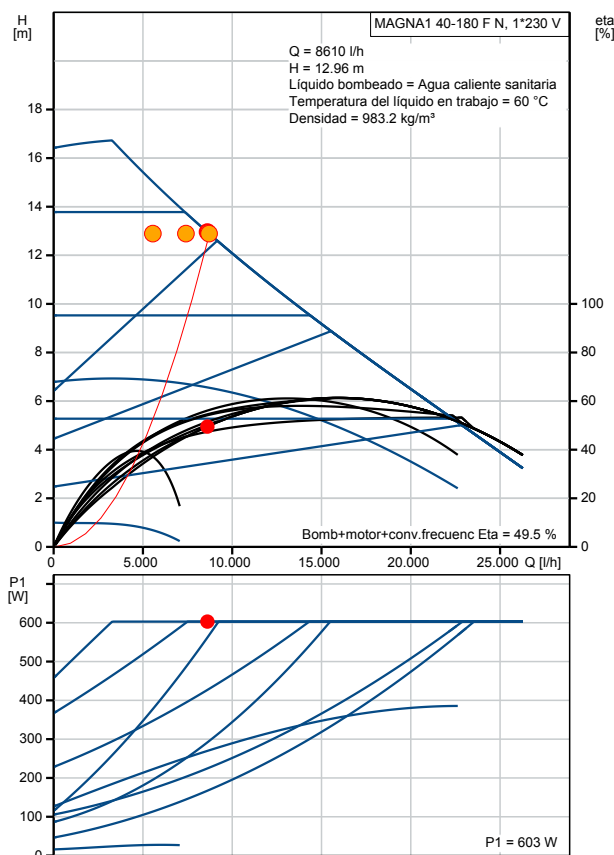
	1	2	3	
Caudal	94	80	60	%
Alt.	89	95	104	%
P1	0.603	0.603	0.603	kW
Total Eta	49.8	45.2	37.1	%
Time	2280	2280	2280	h/a
Consumo energía	1375	1375	1375	kWh/Año
Cantidad	1	1	1	

Resultado de la selección

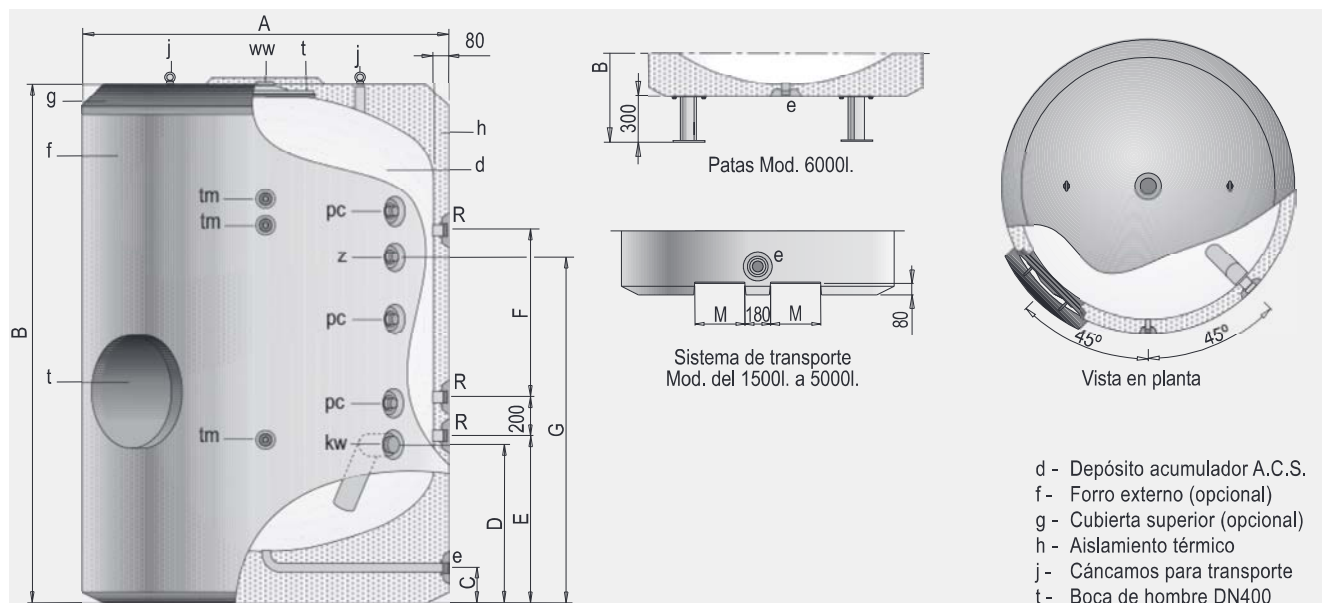
Tipo	MAGNA1 40-180 F N
Cantidad	1
Caudal	8610 l/h (-6%)
Alt.	12.96 m (-11%)
Entrad presión mín	0.2 bar (60 °C, contra la atmósfera)
Pot. P1	0.603 kW
Bomb+motor Eta	49.5 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	49.5 % =Eta relativa punto de trabajo
Consumo energía	4125 kWh/Año
Emisión CO2	2350 kg/Año
Prec.	Bajo pedido
Precio+Costes energ.	Bajo pedido /15Años
Cte ciclo vital	25556 € /15Años

¡Falta el cuadro eléctrico!

Note que el caudal es superior a 6.0 % Punto trabajo solicitado abajo



Para acumulación



Descripción

Depósitos de gran capacidad para acumulación de agua caliente sanitaria. Fabricados en acero vitrificado s/DIN 4753, con capacidades de 1500 a 6000 litros.

Aislados térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectada en molde, libre de CFC.

Todos los modelos disponen de conexiones para la incorporación de resistencias eléctricas de calentamiento como sistema principal de producción de ACS, o como sistema de apoyo.

Incorporan de serie equipo de protección catódica permanente "Lapesa Correx-up" (ver pag. 42).

Características técnicas /Conexiones /Dimensiones			MVV1500	MVV2000	MVV2500	MVV3000	MVV3500	MVV4000	MVV5000	MVV6000
			RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB
Capacidad de A.C.S.	l		1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000
Temperatura máx. en continuo depósito de A.C.S.	°C		90	90	90	90	90	90	90	90
Presión máx. depósito de A.C.S. (*)	bar		8	8	8	8	8	8	8	8
Peso en vacío aprox.	Kg		400	460	635	705	755	915	1030	1134
Cota A: diámetro exterior	mm		1360	1360	1660	1660	1660	1910	1910	1910
Cota B: longitud total	mm		1830	2280	2015	2305	2580	2310	2710	3210
Cota C:	mm		160	160	195	195	195	190	190	--
Cota D:	mm		670	670	800	800	800	865	865	946
Cota E:	mm		685	685	805	805	805	875	875	958
Cota F:	mm		330	780	300	590	875	465	870	1290
Cota G:	mm		1115	1560	1250	1540	1755	1450	1805	2194
Cota M:	mm		210	210	285	285	285	350	350	--
kw:	entrada agua fría	"GAS/M	2	2	3	3	3	3	3	3
e:	desagüe	"GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
ww:	salida agua caliente	"GAS/M	2	2	3	3	3	3	3	3
z:	recirculación	"GAS/M	1-1/2	1-1/2	2	2	2	2	2	2
R:	conexión resistencia	"GAS/M	2	2	2	2	2	2	2	2
tm:	conexión sensores laterales	"GAS/M	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
pc:	conexión protección catódica	"GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
nº de conexiones de protección catódica	und.		2	2	2	3	3	3	3	3

(*) Otras presiones, consultar.

Características técnicas /Conexiones /Dimensiones			MVV1500	MVV2000	MVV2500	MVV3000	MVV3500	MVV4000	MVV5000	MVV6000
			RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB
Pérdidas estáticas	W		154	174	194	215	232	245	266	280
Clase de eficiencia energética	C		C	C	C	C	C	C	C	C
Volumen	l.		1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000	6000

ANEXO V

Ejemplo de hoja de resultados de ensayos unificados e incertidumbres para captador parrilla y 140 l/h

Caplador Termicool T20US 1,9

Kipp&Zonen K. Pyra #1	12.81	(Con disco solar)
Kipp&Zonen K. Pyra #2	10.36	
Caudalímetros SIEMENS MAG 6000: 4[mA]=0 [l/h] y 20 [mA]=200 [l/h]	G _d	
Autómetro Vaisala vfm/s)	G _t	

Autómetro Vaisala vfm/s) = 0.328+0.101*[Hz]

CANALES DATA LOGGER										VALORES CALCULADOS																
102 (C) / 104 (C)	t _{in}	103 (C) / 108 (C)	t _{out}	105 (C)	t _a	109 (Vdc)	G _d	110 (Vdc)	120 (Hz)	121 (Adc) / 122 (Adc)	Caud	dT	t _m	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	caudal_esp	Cp (a _t m) UNE 12975	d (a _t in) UNE 12975	m	η	T [*]	T ² G _t	
28,173	36,8295	31,26267	0,0011044	0,01057586	13,791085	0,0153023	8,6565	32,501725	1020,836181	86,21433776	8,44546259	1,270899566	141,2787792	74,35725219	74,35725219	4178,586747	996,3366604	0,039100341	0,001252777	0,001213303	0,729193257	0,001502777				
28,15916667	36,852333	31,2235	0,0011007	0,01058293	10,971008	0,01530004	8,693166667	32,50575	1021,518243	85,92616445	8,411613304	1,436071806	141,2505188	74,34237829	74,34237829	4178,586719	996,3405979	0,039092674	0,001255239	0,731649492	0,001609531					
28,16283333	36,863167	31,1885	0,0010996	0,01059296	16,256994	0,01529847	8,700333333	32,513	1022,486503	85,83592246	8,394822058	1,969556428	141,2309167	74,3320614	74,3320614	4178,586755	996,3395544	0,039087208	0,001295372	0,731459554	0,00171572					
28,15333333	36,910167	31,1845	0,0011003	0,0106081	25,025001	0,0152988	8,756833333	32,53175	1023,947844	85,892688	8,388385061	2,855525067	141,2350208	74,33422149	74,33422149	4178,586568	996,3422577	0,039080845	0,001315741	0,735179687	0,00172632					
28,163	36,840667	31,15767	0,001102	0,01062484	21,608248	0,01529592	8,677666667	32,50183333	1025,56398	86,02367942	8,387938841	2,510433003	141,1990104	74,31526864	74,31526864	4178,586744	996,339507	0,039078376	0,001310661	0,727197755	0,001761747					
28,16166667	36,853667	31,12283	0,0011048	0,01063967	18,766443	0,01529289	8,692	32,50766667	1026,994723	86,24637002	8,397937016	2,223410709	141,1611792	74,29535746	74,29535746	4178,586707	996,3398865	0,03906792	0,001348433	0,727189528	0,001867355					
28,15116667	36,88	31,07633	0,0011018	0,01063795	18,050021	0,01529454	8,728833333	32,51583333	1026,829134	86,01057767	8,376328133	2,15105216	141,1816896	74,30615241	74,30615241	4178,586659	996,3428742	0,039073714	0,001401645	0,730497148	0,002017318					
28,1555	36,879	31,11883	0,0011044	0,01063333	28,021388	0,01529811	8,7235	32,51725	1026,382819	86,21578194	8,399963482	3,158160138	141,2263604	74,32966338	74,32966338	4178,58665	996,3416413	0,039086029	0,001362471	0,730598458	0,001905302					
28,15633333	36,850333	31,10067	0,0011081	0,01064725	28,907281	0,01532261	8,694	32,50333333	1027,727204	86,50107989	8,416735448	3,247635347	141,5326646	74,4908761	74,4908761	4178,586734	996,3414042	0,039170793	0,001364824	0,728752343	0,001914393					
28,146	36,844667	31,04767	0,0011105	0,01065162	21,185564	0,01533151	8,698966667	32,49533333	1028,148327	86,69028103	8,431690133	2,46774193	141,6438854	74,54941338	74,54941338	4178,586786	996,3443439	0,03920169	0,001408033	0,729419773	0,002038362					
28,15416667	36,867	30,95717	0,0011068	0,01065745	12,88798	0,01533053	8,712833333	32,51083333	1028,711615	86,40356492	8,399201841	1,629685983	141,6315792	74,5429364	74,5429364	4178,586689	996,3420206	0,039198193	0,00151006	0,73014249	0,002345753					
28,1555	36,846333	30,95967	0,0011035	0,01065883	4,9009299	0,01535963	8,690933333	32,50091667	1028,844804	86,1415821	8,372850742	0,822939323	141,9953146	74,7343761	74,7343761	4178,58675	996,3416413	0,039398846	0,001498039	0,730074483	0,002308853					
28,15466667	36,869667	31,0055	0,0010977	0,01066871	12,265661	0,01537545	8,715	32,51216667	1029,786633	85,6889019	8,32037627	1,566831719	142,1931417	74,83949561	74,83949561	4178,58668	996,3418784	0,039355606	0,001463069	0,732445692	0,00204358					
28,14483333	36,861	31,04433	0,001095	0,01067028	10,77516	0,01538223	8,716166667	32,50291667	1029,949807	85,48224044	8,299851096	1,41629312	142,2779229	74,88311732	74,88311732	4178,586737	996,3446758	0,039377181	0,00146169	0,73284798	0,002065601					
28,1545	36,875833	31,0645	0,0010918	0,01067449	10,111967	0,01538227	8,721333333	32,51516667	1030,356548	85,23334634	8,272218635	1,349308709	142,2783771	74,88335636	74,88335636	4178,586662	996,3419258	0,039377198	0,001407927	0,733020247	0,002042433					
28,16516667	36,845867	31,1005	0,0010902	0,01068234	18,33081	0,01539357	8,6805	32,50541667	1031,114221	85,10671351	8,253858956	2,179641132	142,4196813	74,95772697	74,95772697	4178,58671	996,3388903	0,039416185	0,001362523	0,72977398	0,001914231					
28,15816667	36,8445	31,119	0,0010917	0,01068147	18,908501	0,01541148	8,686533333	32,50133333	1031,029617	85,22461619	8,265971682	2,237558618	142,6438833	75,07571754	75,07571754	4178,586744	996,3408825	0,039478204	0,001340731	0,731473434	0,001853337					
28,15783333	36,853667	31,15283	0,0010837	0,01069564	13,165819	0,01540014	8,695833333	32,50575	1032,397378	84,59585659	8,194115794	1,65747736	142,5017271	75,00090899	75,00090899	4178,586719	996,3409773	0,039438975	0,00130461	0,730376591	0,001772945					
28,1635	36,8855	31,174	0,0010817	0,01069717	25,427409	0,01538048	8,722	32,5245	1032,549965	84,4386547	8,177721803	2,896168277	142,2560438	74,837160197	74,837160197	4178,586608	996,3393647	0,039370916	0,001307933	0,731405853	0,001766364					
28,16166667	36,860833	31,12983	0,0010905	0,01070923	31,360922	0,01537753	8,699166667	32,51125	1033,709363	85,12855842	8,235250784	3,495453139	142,1913167	74,83735509	74,83735509	4178,586685	996,3398665	0,039353022	0,001336369	0,728338233	0,001846082					
49,39416667	56,789167	30,67317	0,001104	0,01085758	27,919772	0,01537753	7,395	53,09166667	1047,854955	86,12532289	8,242920108	3,147896922	142,2191188	74,85216776	74,85216776	4182,631382	998,3602906	0,03904548	0,02139466	0,606601903	0,479636175					
49,35116667	56,720167	30,52117	0,001101	0,01086104	32,034475	0,01537935	7,369	53,03566667	1048,362468	86,66263336	8,266476149	3,563481975	142,2419125	74,86416447	74,86416447	4182,612694	998,3739307	0,039052514	0,021475874	0,604282675	0,483518559					
49,34866667	56,674333	30,41433	0,001111	0,0108651	21,999963	0,01537921	7,325666667	53,0115	1048,754794	86,73250065	8,27004569	2,54996246	142,2400896	74,86320504	74,86320504	4182,604639	998,3810722	0,039052059	0,021546664	0,600496312	0,486893547					
49,44866667	56,693333	30,3795	0,0011077	0,01086708	28,398541	0,01539347	7,244666667	53,071	1048,945544	86,10751782	8,258358956	3,196282658	142,4183146	74,95707068	74,95707068	4182,624481	998,35358	0,039099183	0,021632677	0,59446792	0,490877887					
49,3875	56,709667	30,32783	0,0011159	0,01087308	27,228667	0,0153826	7,322166667	53,04858333	1049,525064	87,10804059	8,29975801	3,078035333	142,2824813	74,88551476	74,88551476	4182,617001	998,3633364	0,039062997	0,021648602	0,59939866	0,491872465					
49,414	56,726833	30,31283	0,0011123	0,01086366	20,385815	0,01538034	7,312833333	53,07041667	1048,616184	86,83291699	8,280714938	2,386967315	142,2542208	74,87064254	74,87064254	4182,624287	998,3512276	0,039054759	0,021702491	0,599567854	0,493896248					
49,433	56,732667	30,24583	0,0011166	0,01087111	21,987015	0,01537465	7,299666667	53,08283333	1049,913787	87,16625033	8,302223926	2,54688498	142,1831125	74,83321711	74,83321711	4182,628432	998,3425429	0,039034894	0,02175131	0,597445206	0,496734661					
49,42266667	56,752667	30,22667	0,0011146	0,0108843	23,6603	0,015																				

68.47883333	74.267833	29.5145	0.0010921	0.01082846	31.42698	0.0153776	5.789	71.37333333	1045.218404	85.25080666	8.15626726	3.50212498	142.2200333	74.85264912	4190.826425	978.5149636	0.04004793	0.472246036	1.676359621
68.55966667	74.364	29.5435	0.0010885	0.01080991	9.9222265	0.01539091	5.804333333	71.46183333	1043.427703	84.97572209	8.143901285	1.330144877	142.3864042	74.94021272	4190.878431	978.4688782	0.040173683	0.474847858	1.684013818
68.67533333	74.576	29.62767	0.0010857	0.01097977	9.0966361	0.01538395	5.910666667	71.62566667	1042.256097	84.75740307	8.162109114	1.246760417	142.2993458	74.89439254	4190.975084	978.402874	0.040295279	0.482954523	1.692321118
68.67133333	74.586167	29.6505	0.00109	0.01079492	15.864007	0.01537294	5.914833333	71.62875	1041.980743	85.08924018	8.166104866	1.320624419	142.169157	74.82194298	4190.976709	978.4051578	0.040286973	0.4838636592	1.6917176622
68.67216667	74.617833	29.69883	0.0010878	0.01081804	17.832294	0.01534865	5.915666667	71.66	1044.212339	84.92041374	8.132485181	2.12906166	141.8581167	74.66216667	4190.995401	978.387571	0.040184515	0.481771455	1.686189142
68.64566667	74.630167	29.69267	0.0010917	0.01081411	27.157384	0.01536294	5.9845	71.63791667	1043.832609	85.2217018	8.164307287	3.070895784	142.0367958	74.75620833	4190.98233	978.4198097	0.040183885	0.488183215	1.685523121
68.665	74.615	29.7927	0.0010915	0.01081069	18.408924	0.01535226	5.95	71.63	1043.503282	85.20860005	8.165628373	2.187301214	141.9032438	74.68591776	4190.983563	978.4087735	0.040235662	0.485060225	1.683654387
68.63883333	74.621167	29.75267	0.0010973	0.01078271	26.095618	0.01534628	5.982333333	71.64	1040.801931	85.65689565	8.229894002	2.963657418	141.8284917	74.654775	4190.977647	978.42371	0.040235641	0.488701113	1.68496137
68.59766667	74.538333	29.773	0.0011073	0.01077299	21.348692	0.01535558	5.940666667	71.568	1039.864302	86.10227687	8.280145469	2.484217875	141.9447208	74.70774781	4190.9742016	978.4472016	0.040192744	0.486150349	1.679855748
68.60416667	74.4735	29.80017	0.0011053	0.01076584	19.185159	0.01536889	5.869333333	71.53883333	1039.560167	86.28419204	8.30067158	2.265701059	142.1110938	74.7953125	4190.923795	978.443493	0.040150314	0.481012695	1.675820554
68.735	74.5195	29.843	0.0011043	0.01076494	13.651942	0.01535507	5.7945	71.62725	1039.08684	86.19833463	8.295585247	1.706846187	141.9383396	74.73438925	4190.976702	978.3687985	0.040212472	0.473669444	1.680247964
68.70283333	74.5895	29.84067	0.00111032	0.01077355	27.78697	0.01535959	5.886666667	71.64616667	1039.918275	86.12702316	8.282095353	3.13448397	141.93848625	74.73413881	4190.987211	978.3871711	0.040220475	0.481852303	1.68012671
68.54866667	74.545	29.7505	0.0011079	0.0107658	24.861956	0.01533853	5.996333333	71.54683333	1039.169643	86.48652095	8.322656608	2.839057522	141.9816471	74.72717982	4190.928515	978.4751517	0.040220895	0.491174104	1.681085944
68.54	74.44	29.68667	0.001108	0.01077106	23.158259	0.01536794	5.9	71.49	1039.677114	86.4981655	8.319714092	2.666984159	142.0992438	74.78907566	4190.895013	978.4800939	0.040206071	0.483445985	1.680667394
68.53283333	74.410333	29.8225	0.0011121	0.01078856	26.896346	0.01536765	5.8775	71.47158333	1041.367053	86.8125553	8.336403103	3.044530921	142.0959598	74.7871557	4190.884169	978.4841805	0.040186679	0.480809219	1.681775673
68.40916667	74.357833	29.46483	0.0011233	0.01077413	29.98048	0.01535908	5.948666667	71.3835	1039.974067	87.69021598	8.431961793	3.356208514	141.9884818	74.73077961	4190.832392	978.5546552	0.040307415	0.485945411	1.689633108
68.40983333	74.252167	29.39883	0.001126	0.01077059	29.990269	0.01536254	5.842333333	71.331	1039.632143	87.89834765	8.454754718	3.316617203	142.0317833	74.75357018	4190.801599	978.5542755	0.040342314	0.478539831	1.692003728
68.49	74.202833	29.37417	0.0011272	0.01074646	20.565479	0.01536455	5.712833333	71.34641667	1037.30333	87.99149102	8.482715563	2.405113329	142.0568521	74.76676425	4190.810637	978.5085992	0.040462851	0.469045044	1.698316894
68.4865	74.198	29.356	0.0011328	0.01076856	36.418727	0.01537319	5.7115	71.34225	1039.435972	88.42958626	8.5007458725	4.006291427	142.1648792	74.82362061	4190.806194	978.5105941	0.040393303	0.468329995	1.695963231
68.507	74.173333	29.30367	0.0011447	0.01076552	31.329733	0.0153671	5.666333333	71.34016667	1038.12632	89.35673953	8.599083204	3.492303016	142.0887604	74.78355811	4190.808972	978.4980989	0.040453061	0.464503065	1.700500588
68.4955	74.231667	29.2355	0.0011427	0.01075545	36.255272	0.0153582	5.736166667	71.36358333	1038.170801	89.2039032	8.592411104	3.989827754	141.9775438	74.72502303	4190.820705	978.5054643	0.040579145	0.470304186	1.709521596
89.05516667	92.641667	27.95767	0.0012373	0.01051568	37.275471	0.01539835	3.5865	90.84841667	1015.02677	96.59198543	9.516200786	4.092822554	142.4793917	74.98915351	4206.113853	965.744708	0.061956966	0.298973018	3.896691746
88.93533333	92.714833	27.89967	0.0012419	0.01049342	31.384108	0.01539146	3.7795	90.82508333	1012.877928	96.94711163	9.5017450711	3.497794942	142.3932417	74.94861175	4206.090836	965.823441	0.062135243	0.315563604	3.915563075
88.9816667	92.536833	27.8933	0.0012346	0.01050456	33.33388	0.01539441	3.536666667	90.7675	1013.954134	96.75708457	9.50467137	3.69472188	142.4926104	74.96611075	4206.034078	965.7814022	0.062067792	0.295331119	3.9100493496
88.10383333	92.483167	27.8815	0.0012354	0.01050091	36.143774	0.01540754	3.379333333	90.7935	1013.601384	96.4406063	9.51464825	3.978521174	142.5942563	75.04960855	4206.059697	965.7106644	0.062067792	0.282313878	3.90480894
89.04183333	92.5085	27.85633	0.0012382	0.01050669	35.170559	0.0154385	3.466666667	90.77516667	1013.57981	96.65602394	9.536103913	3.880226476	142.9812438	75.25328618	4206.041631	965.7521761	0.062075855	0.290413208	3.905740375
88.90283333	92.347167	27.75617	0.001249	0.01050356	34.509642	0.01541203	3.444333333	90.625	1013.856966	97.50020817	9.616761678	3.81347392	142.6503208	75.2911623	4205.893887	965.845178	0.062075855	0.287813369	3.9084699249
88.93266667	92.2755	27.7335	0.0012449	0.01049237	31.151071	0.01542384	3.342833333	90.6408333	1012.77714	97.814598	9.595542395	3.474258205	142.7890042	75.1568443	4205.873342	965.825247	0.06207412	0.279912056	3.902843078
89.15716667	92.336833	27.75117	0.0012422	0.01049681	35.427047	0.01542982	3.179666667	90.747	1013.205486	96.97040073	9.570654925	3.906131747	142.8727583	75.1961886	4206.013886	965.6749411	0.062174785	0.266243524	3.916752399
89.053	92.343167	27.66617	0.0012477	0.0105032	41.71309	0.01542599	3.290166667	90.69808333	1013.82278	97.39832192	9.607036215	4.486302192	142.8248979	75.1709989	4205.965738	965.744708	0.06217252	0.275252795	3.918853075
88.97733333	92.3295	27.55367	0.0012507	0.01047936	29.471953	0.01541987	3.352166667	90.6341667	1011.520849	97.63264377	9.652064396	3.304667203	142.7483229	75.13909627	4205.951812	965.7953428	0.062381067	0.280938966	3.93622974
89.096	92.340833	27.49417	0.0012516	0.01046265	37.912131	0.01544532	3.244833333	90.71841667	1009.908237	97.70251106	9.67439491	4.157125231	143.0664813	75.29814803	4205.985746	965.7159101	0.062603955	0.272966567	3.958088114
88.98016667	92.693833	27.46067	0.0012553	0.01046358	42.669905	0.01544229	3.173666667	90.837	1009.998246	97.99651314	9.702641909	4.637660371	143.0286479	75.27823575	4206.10259	965.793447	0.062748954	0.312329745	3.976798614
88.84366667	92.630667	27.401	0.0012627	0.01046716	41.937717	0.01543256	3.787	90.73716667	1010.34379	98.57436988	9.756517528	4.563709383	142.9069458	75.21418202	4206.004204	965.8847379	0.062687738	0.318140069	3.970401013
88.81083333	92.698	27.3435	0.0012671	0.01043934	35.115907	0.01543587	3.887166667	90.75441667	1007.658655	98.91639344	9.816458475	3.87470659	142.948425	75.2360114	4206.021119	965.9066839	0.062929865	0.327528897	3.990383383
23.33416667	32.04333	29.24583	0.0011047	0.01033978	20.293576	0.01520016	8.708166667	27.68025	995.7337001	86.62769971	8.699711555	2.645610152	139.9154417	73.63970614	4179.017126	997.5982014	0.00134061	0.744929461	0.001789602
23.32416667	32.046	29.089	0.0011019	0.01032485	6.2823651	0.01519251	8.721833333	27.68508333	996.607728	86.01494926	8.630781127	0.962518872	139.9063229	73.6349068	4179.016791	997.6005615	-0.0014087	0.746270013	0.001977693
23.3195	32.045667	29.18817	0.0011004	0.0103318	18.339636	0.0152002	8.726166667	27.68258333	997.2780245	85.90287536	8.613733909	2.180303189	140.0025	73.68552632	4179.017248	997.6016625	-0.00150969	0.746652066	0.002272968
23.33833333	32.0375	29.208	0.0011082	0.01033724	17.744248	0.01520607	8.703666667	27.68566667	996.935393	86.50690867	8.669733596	2.102169067	140.0758875	73.72415132	4179.016684	997.5982801	-0.00150568	0.747221719	0.0023226
23.3375	32.041	29.24533	0.0011102	0.01032854	16.835249	0.01520246	8.7035	27.68925	996.9630792	86.66410356	8.692809732	2.028360174	140.0307604	73.70016504	4179.016303	997.5974145	-0.00156082	0.745094894	0.002428771
23.33616667	32.044333	29.24583	0.0011047	0.01033978	20.293576	0.01520016	8.708166667	27.68025	995.7										

44.52783333	52.118	29.1075	0.0010973	0.01069439	26.698598	0.01523696	7.590166667	48.32291667	1032.276802	85.65981004	8.298143472	3.024558364	140.4619604	73.92734759	4181.161105	990.5012817	0.038646598	0.018614597	0.625330645	0.357687238
44.541566667	52.1155	29.01933	0.0011023	0.01071137	28.834521	0.01523178	7.599833333	48.31558333	1033.916313	86.0513401	8.322853507	3.240286571	140.3972354	73.8932818	4181.159036	990.5064226	0.03862899	0.018663261	0.624849056	0.360130095
44.51766667	52.086667	29.03367	0.0011014	0.01070207	17.091907	0.01523481	7.569	48.30216667	1033.018292	85.98147281	8.3233253	2.054282567	140.4350667	73.91319298	4181.155253	990.5055776	0.038639366	0.018652622	0.623021704	0.359408052
44.55933333	52.1035	29.10033	0.001096	0.01069681	21.148331	0.01523054	7.544166667	48.33141667	1032.510779	85.55500911	8.286112928	2.463981407	140.3817375	73.885125	4181.163504	990.4879668	0.038624006	0.018625552	0.621037102	0.358189545
44.537	52.124167	29.126	0.001094	0.01071559	14.026704	0.01522647	7.587166667	48.33058333	1034.323069	85.40326998	8.256958826	1.744697117	140.3370667	73.86161404	4181.163269	990.4974078	0.038612084	0.018567297	0.623290024	0.356577197
44.52783333	52.144333	29.17367	0.0010827	0.01075331	8.6805669	0.01522593	7.5725	48.35808333	1037.863835	84.51725215	8.142600857	1.204793274	140.317925	73.85153947	4181.171035	990.4826811	0.038606243	0.018482741	0.619810503	0.354580603
44.55566667	52.176167	29.17233	0.0010873	0.0107429	18.266435	0.01522624	7.6205	48.36591667	1036.95962	84.87674993	8.18515478	2.172990935	140.32795	73.85681579	4181.173249	990.4895171	0.038609268	0.018509348	0.624392601	0.354263246
44.53716667	52.170167	29.20967	0.0010935	0.01073837	15.890609	0.0152258	7.633	48.35366667	1036.522281	85.36578194	8.235788414	1.932951536	140.3224813	73.8539375	4181.169787	990.4973373	0.038608068	0.018469453	0.62566072	0.353579216
44.5135	52.178333	29.24717	0.0010945	0.01073865	17.335575	0.01521858	7.664833333	48.34591667	1036.54926	85.44293521	8.243017337	2.078893105	140.2322313	73.8064375	4181.167598	990.507338	0.038583626	0.018425318	0.62785562	0.351900547
44.5555	52.247833	29.28183	0.001091	0.01074354	17.708289	0.01522365	7.692333333	48.40166667	1037.028081	85.16493625	8.212461713	2.11653717	140.2955875	73.83978289	4181.183361	990.4895875	0.03860366	0.018437271	0.630097368	0.352517545
44.54133333	52.221667	29.28783	0.0010914	0.01075869	25.281992	0.01522999	7.680333333	48.3815	1038.483945	85.19986989	8.204254898	2.881481175	140.3749021	73.88152741	4181.177655	990.4955762	0.038622422	0.018386097	0.628586151	0.35105801
44.56566667	52.1955	29.18567	0.0010978	0.01076026	20.153817	0.0152205	7.629833333	48.38058333	1038.635135	85.69765808	8.25098778	2.363535512	140.3812813	73.88488487	4181.177396	990.4852889	0.038623776	0.018480904	0.624383999	0.35473942
44.585	52.221667	29.16233	0.0010924	0.01076166	5.3458821	0.01523645	7.636666667	48.40333333	1038.770093	85.27701015	8.209420997	1.019907796	140.4555813	73.92399013	4181.183833	990.4771122	0.0386439	0.018522867	0.625188532	0.356398479
68.57566667	74.5595	29.2155	0.0010724	0.01084539	6.8505722	0.01518715	5.983833333	71.56758333	1046.852494	83.71674473	7.996995302	1.019907796	139.8393188	73.59964145	4190.940761	978.4597521	0.03800754	0.040456591	0.479205378	1.71342092
68.66416667	74.605167	29.27783	0.0010663	0.01085084	7.7774158	0.01518963	5.941	71.63466667	1047.378008	83.23787406	7.947261962	1.13518992	139.8703146	73.61595504	4190.980407	978.4092492	0.038014003	0.040440827	0.475621777	1.712945389
68.70533333	74.836667	29.3425	0.0010647	0.01084299	6.7336954	0.01518809	6.131333333	71.771	1046.620335	83.11124122	7.940915962	1.008103232	139.8511729	73.60588048	4191.061235	978.3857434	0.038007887	0.040538578	0.491145187	1.719991054
68.70533333	74.8035	29.33333	0.0010675	0.01085732	16.053266	0.01518496	6.098166667	71.75441667	1048.004311	83.33538902	7.951817384	1.949379883	139.8119708	73.58524781	4191.051385	978.3857434	0.037997233	0.040477966	0.487705415	1.717119187
68.745	74.885833	29.33717	0.0010697	0.010842	10.202598	0.01518281	6.140833333	71.81541667	1046.524968	83.50277127	7.97905199	1.358462417	139.7850771	73.5710932	4191.087642	978.3630857	0.037989044	0.04058981	0.491710209	1.724184113
68.75533333	74.824	29.34367	0.001064	0.01086428	29.99448	0.01519331	6.068666667	71.78966667	1048.675595	83.05886027	7.920357892	3.35744243	139.9163521	73.64018531	4191.072329	978.3571819	0.038024491	0.040475816	0.485385823	1.718036468
68.6885	74.8435	29.3365	0.001065	0.01087312	10.783156	0.01519345	6.155	71.766	1049.528652	83.14034608	7.921684266	1.417098793	139.918175	73.64114474	4191.058265	978.3953562	0.03802647	0.040427196	0.491914778	1.715035692
68.71766667	74.901833	29.37017	0.0010616	0.01087701	13.151681	0.01519819	6.184166667	71.80975	1049.904762	82.87399167	7.893477073	1.656319731	139.9774292	73.67233114	4191.084271	978.3786994	0.038041926	0.040422317	0.494272643	1.71505663
68.7405	74.863833	29.34417	0.0010622	0.01088951	18.841421	0.01520534	6.123333333	71.80216667	1051.110569	82.9162243	7.888439781	2.230983555	140.0667708	73.71935307	4191.079761	978.3656565	0.038065699	0.040393467	0.489154033	1.715025818
68.732	74.8675	29.27883	0.0010696	0.01087289	28.803027	0.01520589	6.1355	71.79975	1049.507046	83.49549831	7.955687253	3.237105761	140.0736083	73.72295175	4191.078324	978.3705122	0.038067747	0.040515132	0.490901035	1.722740558
68.72416667	74.844333	29.23317	0.001073	0.01087947	15.319078	0.01520709	6.120166667	71.78425	1050.142342	83.76038251	7.976098014	1.875226833	140.08865	73.73086842	4191.069109	978.3749867	0.038072009	0.040519348	0.489431696	1.724142166
68.74386667	74.9335	29.2735	0.0010687	0.01086422	9.4452872	0.01520822	6.189833333	71.83858333	1048.67019	83.42989859	7.955789189	1.281974009	140.1027792	73.73830482	4191.10143	978.3638474	0.038075415	0.040589581	0.495746035	1.727698886
68.691	74.952	29.25133	0.0010746	0.01086361	31.8276683	0.01520425	6.261	71.8215	1048.610811	83.88847255	7.999962587	3.542494949	140.0530958	73.7121557	4191.091262	978.3939286	0.038063083	0.040596727	0.501310558	1.728209428
88.93083333	92.869167	29.33	0.0011026	0.01072965	24.807969	0.01520093	3.983333333	90.9	1035.680035	86.0717018	8.310646035	2.833604839	140.0116188	73.69032566	4206.164773	965.826451	0.037563035	0.059448862	0.316213363	3.660266463
88.99333333	93.284833	29.3185	0.0011041	0.01073658	14.98217	0.01517719	4.2915	91.13908333	1036.349517	86.1867031	8.316374124	1.841199125	139.7148813	73.53414803	4206.401432	965.7846366	0.037481802	0.059652253	0.343621588	3.687737061
89.0535	93.218333	29.32817	0.0011036	0.01071699	19.093453	0.01515998	4.164833333	91.13591667	1034.458028	86.15176945	8.328203479	2.256438787	139.4997375	73.42091447	4206.39829	965.7443661	0.037422524	0.05974892	0.3335605	3.692946314
89.0315	93.591667	29.319	0.001108	0.01071939	12.714171	0.01514933	4.560166667	91.31158333	1034.690203	86.4937809	8.359389185	1.612131281	139.3666396	73.35086294	4206.572841	965.759093	0.037387389	0.059914149	0.364813016	3.714232896
89.17816667	93.551167	29.35117	0.0011065	0.01072483	15.003744	0.01514065	4.373	91.36466667	1035.215685	86.37733542	8.343897474	1.843378166	139.2581563	73.29376645	4206.625699	965.6608714	0.037354487	0.059903942	0.349358792	3.714853085
89.17533333	93.590333	29.35517	0.001109	0.01072935	10.950799	0.01515137	4.415	91.38283333	1035.651239	86.57240437	8.359223755	1.434030748	139.3921646	73.36429715	4206.643801	965.6627698	0.037390507	0.059892427	0.35290732	3.714987525
89.01583333	93.419	29.33917	0.0011162	0.01071529	28.61635	0.01517187	4.403166667	91.21741667	1034.294273	87.13858964	8.424932046	3.218251384	139.6483333	73.49912281	4206.479202	965.769579	0.037463364	0.059826542	0.353096105	3.701961737
88.92016667	93.475833	29.31333	0.0011159	0.01071835	28.024004	0.01518576	4.556666667	91.198	1034.589398	87.11531356	8.420278972	3.15842437	139.8219979	73.59052522	4206.459914	965.8335855	0.037512439	0.059815678	0.365697824	3.701673316
89.01383333	93.2335	29.25167	0.0011175	0.01072135	28.680005	0.01519648	4.219666667	91.12366667	1034.879151	87.23319022	8.429311787	3.224680471	139.9560083	73.66105702	4206.386139	965.7709175	0.037545956	0.059786691	0.338927817	3.699122146
89.07016667	93.191333	29.11967	0.0011283	0.0107118	33.100708	0.01520589	4.121166667	91.13075	1033.957722	88.07883164	8.518610555	3.671171458	140.0736083	73.72295175	4206.393165	965.7332079	0.037576038	0.059974486	0.331577185	3.719082874
89.10666667	93.003167	29.0055	0.0011319	0.0107212	25.417083	0.01519218	3.8965	91.05491667	1034.864752	88.36265938	8.538570728	2.895125366	139.9022208	73.63274781	4206.317997	965.7087669	0.03752911	0.059958962	0.312829621	3.720418635
89.14633333	93.057333	28.95717	0.0011329	0.01072083	15.583232	0.01520144	3.911	91.0183333	1034.828764	88.43978663	8.546320866	1.901906432	140.0719979	73.69368311	4206.36449	965.6821984	0.037559136	0.060053092	0.314259354	3.731979365
89.20366667	93.179333	28.94033	0.0011363	0.01068																

INCERTIDUMBRES DE MEDIDA										INCERTIDUMBRE COMBINADA RESULTANDO										INCERTIDUMBRE COMBINADA T-T										INCERTIDUMBRE COMBINADA T-T ² G									
u (G, t)	u (m)	u (Δt)	u (ΔT)	u (t_out)	u (t_in)	u (ΔT)	u (Δt)	u (Au)	c ₁ (m)	c ₁ (n, ΔT)	c ₁ (n, Δt)	c ₁ (n, g, t)	c ₁ (T, t, m)	c ₁ (T ² , t, amb)	u(T ² , g, t)	u(T ² , g, t, ΔT)	c ₁ (T ² , g, t, ΔT)	c ₁ (T ² , g, t, ΔT)	u(T ² , g, t)	%																			
6.89064422	4.8874E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.64928135	0.084236499	-0.383785925	-0.00071431	0.012968021	1.778406021	0.000975689	-0.000975689	-1.18854E-06	0.000138777	11.43792749	0.002426605	-0.028732653	-1.4721E-06	0.002883512	191.8784945																		
6.89524841	4.88658E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.71576892	0.084163748	-0.385073643	-0.00071627	0.012965004	1.77707864	0.000978935	-0.000978935	-1.2288E-06	0.000138701	11.04979244	0.002510479	-0.029845391	-1.57635E-06	0.002995099	186.085214																		
6.90178392	4.8859E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.73467125	0.08407229	-0.384973743	-0.000715371	0.012952995	1.77084653	0.000978008	-0.000978008	-1.2688E-06	0.000138587	10.69855389	0.002590743	-0.030867205	-1.67799E-06	0.003063589	180.5071919																		
6.91167949	4.88606E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.80810544	0.083954971	-0.386386757	-0.000717965	0.012949517	1.77122673	0.000976612	-0.000976612	-1.28497E-06	0.000138319	10.00138399	0.002613422	-0.031251085	-1.73171E-06	0.003146094	177.5943677																		
6.922568663	4.8848E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.86812663	0.08390107	-0.387325566	-0.000719707	0.012940817	1.77142608	0.000975073	-0.000975073	-1.27795E-06	0.000138108	10.54274828	0.002621482	-0.031251085	-1.71391E-06	0.003136765	178.011418																		
6.932214382	4.88349E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.91346911	0.083661934	-0.382731331	-0.000718075	0.01288828	1.77227908	0.000973715	-0.000973715	-1.31295E-06	0.000138005	10.23444081	0.002598866	-0.032113429	-1.81827E-06	0.003226672	172.59521																		
6.933106658	4.88427E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.95953595	0.083687833	-0.384472183	-0.000711411	0.012904421	1.765970254	0.000973872	-0.000973872	-1.36502E-06	0.000138053	9.949202517	0.002602639	-0.033466814	-1.9461E-06	0.003358429	166.4795331																		
6.928084025	4.88575E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.69206156	0.083750611	-0.384525504	-0.000711819	0.012908849	1.766887039	0.000974295	-0.000974295	-1.32745E-06	0.000138013	10.13544647	0.002724942	-0.033399923	-1.85833E-06	0.003255444	170.8622788																		
6.937158627	4.89635E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.60484929	0.08382446	-0.383535865	-0.000709091	0.012913021	1.77193492	0.000973021	-0.000973021	-1.328E-06	0.000137914	10.10489101	0.002729648	-0.032431194	-1.86274E-06	0.003254612	170.075249																		
6.94001207	4.89097E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.62694027	0.083954204	-0.383995143	-0.000709495	0.012919005	1.77113407	0.000972622	-0.000972622	-1.36948E-06	0.000137878	9.7872929449	0.002816056	-0.033983982	-1.98256E-06	0.003351739	161.4423914																		
6.943803403	4.89271E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.62694027	0.083954204	-0.383995143	-0.000709495	0.012919005	1.77113407	0.000972622	-0.000972622	-1.36948E-06	0.000137878	9.7872929449	0.002816056	-0.033983982	-1.98256E-06	0.003351739	161.4423914																		
6.944703925	4.89129E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.61190732	0.084004126	-0.385497733	-0.00071251	0.012932151	1.768337897	0.000971964	-0.000971964	-1.42073E-06	0.000137684	9.41061246	0.002636138	-0.03516597	-1.40571E-06	0.003267818	160.0820779																		
6.95114027	4.9192E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.61190732	0.084004126	-0.385497733	-0.00071251	0.012932151	1.768337897	0.000971964	-0.000971964	-1.42073E-06	0.000137684	9.41061246	0.002636138	-0.03516597	-1.40571E-06	0.003267818	160.0820779																		
6.952161197	4.92215E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.61166753	0.084062261	-0.385723883	-0.000711564	0.012938246	1.78138379	0.000970921	-0.000970921	-1.37499E-06	0.000137641	9.179288883	0.002832339	-0.034123997	-2.00554E-06	0.003424362	165.7804017																		
6.954960966	4.92215E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.61534916	0.084049103	-0.385800103	-0.000711423	0.012934349	1.771295076	0.000970538	-0.000970538	-1.36645E-06	0.000137583	9.000175538	0.002815854	-0.0340319885	-1.96276E-06	0.0034119643	167.2340272																		
6.956902094	4.92702E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.61547654	0.084047501	-0.384901569	-0.000710751	0.012948074	1.774259148	0.000969825	-0.000969825	-1.3241E-06	0.000137462	10.0878011	0.002752564	-0.035015443	-1.85847E-06	0.003371794	173.0613217																		
6.959449916	4.93478E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.52838802	0.084029669	-0.384980148	-0.000709459	0.012937878	1.771253575	0.000969904	-0.000969904	-1.30038E-06	0.000137369	10.24878438	0.002620922	-0.032439767	-1.79156E-06	0.003252066	175.6326709																		
6.9666623	4.92987E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.52422866	0.084014558	-0.384513595	-0.000707651	0.012943066	1.771260669	0.000968619	-0.000968619	-1.26934E-06	0.000137265	10.14748338	0.002620922	-0.032439767	-1.79156E-06	0.003252066	175.6326709																		
6.969676511	4.92158E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.57731377	0.0838571585	-0.384950449	-0.000708553	0.012924986	1.771142851	0.000968481	-0.000968481	-1.26671E-06	0.000137248	10.49350953	0.002615867	-0.032719819	-1.71068E-06	0.003209472	181.6993663																		
6.97375382	4.91913E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	18.50778933	0.083725058	-0.383333912	-0.000704587	0.012899224	1.771048631	0.00096739	-0.00096739	-1.29279E-06	0.000137107	10.23964374	0.002677237	-0.032845483	-1.78888E-06	0.003256494	176.4031773																		
6.973020946	4.89009E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.53577777	0.080228655	-0.312647614	-0.000578899	0.012733866	1.771039821	0.00095431	-0.00095431	-2.04716E-05	0.000119622	9.32388467	0.002782737	-0.050239935	-0.000465731	0.00529999	10.9042014																		
6.970646658	4.88151E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.47359203	0.082003348	-0.318643513	-0.000576406	0.012734925	1.7724733024	0.000953669	-0.000953669	-2.04852E-05	0.0001198019	9.927050991	0.002951747	-0.050177555	-0.000461213	0.005238824	10.80377151																		
6.970904468	4.88151E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.37681567	0.081971558	-0.316050691	-0.000575208	0.012733678	1.765496891	0.000953512	-0.000953512	-2.0545E-05	0.0001198304	9.204871722	0.002996307	-0.051077255	-0.000464259	0.005238803	10.75980642																		
6.970803842	4.8874E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.20470014	0.080505938	-0.312877853	-0.000566729	0.012733381	1.764206236	0.000953338	-0.000953338	-2.06237E-05	0.0001198744	9.918120191	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.38234044	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594	1.764226258	0.000951546	-0.000951546	-2.07038E-05	0.0001199194	9.191761659	0.002932303	-0.052463742	-0.000467973	0.005238803	10.75980642																		
6.970842918	4.88297E-05	0.1	0.1414	0.1	0.0285	15.35197392	0.081934581	-0.315717629	-0.000571629	0.012733594																													

6.851430695	4.77773E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.822053143	0.083380663	-0.15735422	-0.000295447	0.011974698	4.005276996	-0.000985196	-0.000985196	6.1042E-05	0.000440825	0.01470835	0.123919392	-1.302719396	-0.003839004	0.133425941	3.424082515
6.863620014	4.77523E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	8.260423034	0.083439479	-0.166086107	-0.000311551	0.012014158	3.807206619	-0.000987286	-0.000987286	-6.13452E-05	0.000440445	0.014740401	0.124204747	-1.298345368	-0.003860788	0.133072098	3.402398642
6.844190408	4.77896E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.725477669	0.083458304	-0.155437431	-0.000291267	0.011983334	4.234721094	-0.000986238	-0.000986238	-6.11691E-05	0.000441275	0.0147147355	0.124045387	-1.305071055	-0.003881987	0.133712969	3.428103895
6.841808335	4.78142E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.380498035	0.083541294	-0.148592632	-0.000278526	0.011979908	4.043771981	-0.000986581	-0.000986581	-6.1249E-05	0.000441579	0.0147149683	0.124135594	-1.30467065	-0.003882411	0.133681248	3.425029066
6.841663719	4.7946E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.517363541	0.083773041	-0.152849057	-0.000286532	0.01202761	4.139536427	-0.000986602	-0.000986602	-6.12442E-05	0.000441632	0.0147149919	0.12415171	-1.30192302	-0.003883412	0.133412668	3.415809991
6.845354552	4.78396E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.520265985	0.083851496	-0.151400721	-0.000293388	0.011986134	4.16506534	-0.000986332	-0.000986332	-6.1162E-05	0.000441755	0.0147149516	0.124019138	-1.299614341	-0.003845187	0.133207818	3.417121219
6.836245593	4.78882E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.396539339	0.083734972	-0.147320735	-0.000276381	0.011990414	4.288641355	-0.000987384	-0.000987384	-6.12942E-05	0.000441197	0.0147149636	0.124145936	-1.299079633	-0.003865365	0.132652112	3.398166652
6.839137029	4.79098E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	6.947061787	0.083733047	-0.140128171	-0.000262713	0.011986528	4.355360456	-0.000986967	-0.000986967	-6.13644E-05	0.000442282	0.01471352369	0.12434957	-1.299279633	-0.003865404	0.133070778	3.400070778
6.84303764	4.78932E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.184027439	0.083859226	-0.144869892	-0.00022715	0.011988251	4.435260476	-0.000986366	-0.000986366	-6.13248E-05	0.000442724	0.0147131822	0.124345059	-1.29431217	-0.003865472	0.132695338	3.388953376
6.827765734	4.7879E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.355983182	0.083808174	-0.147826313	-0.00027199	0.01201554	4.276921988	-0.00098861	-0.00098861	-6.16706E-05	0.000443676	0.0147125578	0.124629134	-1.292595336	-0.003891388	0.132550458	3.3674472
6.711233925	4.79728E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	7.11233925	0.084132348	-0.145666114	-0.000270288	0.01205046	4.414635706	-0.000990189	-0.000990189	-6.19897E-05	0.000445175	0.0147108629	0.125207901	-1.293419551	-0.003919355	0.132742688	3.35877968
6.617480164	4.79639E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	8.139703025	0.084120495	-0.164384076	-0.000309258	0.012094817	3.872418492	-0.000990101	-0.000990101	-6.2178E-05	0.000446175	0.01470928167	0.125497908	-1.293409452	-0.003937431	0.132694952	3.356727968
6.619620584	4.79727E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	8.297403879	0.08400468	-0.167442142	-0.000314883	0.01208908	3.799923689	-0.000989762	-0.000989762	-6.20459E-05	0.000445693	0.01470972598	0.125375476	-1.285043358	-0.003929252	0.131866615	3.321241733
6.801695932	4.79427E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	8.539609668	0.084259031	-0.17238363	-0.000325054	0.012136243	3.70536916	-0.000990924	-0.000990924	-6.24507E-05	0.000447356	0.01470888977	0.125875931	-1.282111376	-0.003960955	0.131613058	3.298259569
6.721337476	4.84613E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.12305146	0.085642123	-0.392068137	-0.000748106	0.013194341	1.771220193	0.001004264	0.001004264	-1.34638E-06	0.000142312	-0.61155034	-0.002681219	-0.0038919626	-0.003919626	0.131797238	3.179732651
6.84303764	4.78932E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.24883564	0.085642123	-0.392068137	-0.000748106	0.013194341	1.771220193	0.001004264	0.001004264	-1.34638E-06	0.000142312	-0.61155034	-0.002681219	-0.0038919626	-0.003919626	0.131797238	3.179732651
6.727095717	4.8462E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.24883564	0.085642123	-0.392068137	-0.000748106	0.013194341	1.771220193	0.001004264	0.001004264	-1.34638E-06	0.000142312	-0.61155034	-0.002681219	-0.0038919626	-0.003919626	0.131797238	3.179732651
6.731626665	4.8494E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.24543878	0.085642727	-0.392974772	-0.00074869	0.013189105	1.756432497	0.001002729	0.001002729	-1.3181E-06	0.000142173	-9.41734898	-0.003019385	-0.003931935	-0.003931935	0.1326953153	3.15906647
6.735173369	4.85206E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.18570266	0.085694169	-0.391959041	-0.000747365	0.013183046	1.760250617	0.000998734	0.000998734	-1.67922E-06	0.000141694	-8.45913273	-0.003350654	-0.003350654	-0.003350654	0.1326953153	3.15906647
6.729307874	4.8509E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.2015061	0.085694169	-0.392155179	-0.000747365	0.013183046	1.760250617	0.000998734	0.000998734	-1.67922E-06	0.000141694	-8.45913273	-0.003350654	-0.003350654	-0.003350654	0.1326953153	3.15906647
6.736625881	4.8495E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.19091137	0.085698048	-0.391838554	-0.000745987	0.013174529	1.76956268	0.001001956	0.001001956	-1.56167E-06	0.000142098	-8.16529436	-0.003211231	-0.003211231	-0.003211231	0.1326953153	3.15906647
6.744819245	4.84902E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.16468129	0.085698048	-0.391838554	-0.000745987	0.013174529	1.76956268	0.001001956	0.001001956	-1.56167E-06	0.000142098	-8.16529436	-0.003211231	-0.003211231	-0.003211231	0.1326953153	3.15906647
6.753991144	4.84966E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.15070659	0.085698048	-0.391838554	-0.000745987	0.013174529	1.76956268	0.001001956	0.001001956	-1.56167E-06	0.000142098	-8.16529436	-0.003211231	-0.003211231	-0.003211231	0.1326953153	3.15906647
6.758558579	4.8493E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.20394489	0.085625624	-0.392243537	-0.00074305	0.01314336	1.768138579	0.000999409	0.000999409	-1.6443E-06	0.000141773	-8.61699345	-0.003290554	-0.003290554	-0.003290554	0.1326953153	3.15906647
6.757530152	4.84979E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.24773532	0.085624031	-0.393042018	-0.00074305	0.01314184	1.763250617	0.000998734	0.000998734	-1.67922E-06	0.000141694	-8.45913273	-0.003350654	-0.003350654	-0.003350654	0.1326953153	3.15906647
6.759853273	4.84966E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.28887874	0.085624031	-0.393871494	-0.000742937	0.013162976	1.758919426	0.000999684	0.000999684	-1.72672E-06	0.000141745	-8.19971961	-0.003457306	-0.003457306	-0.003457306	0.1326953153	3.15906647
6.759153873	4.8498E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.28158126	0.085620474	-0.393660736	-0.000746942	0.013146067	1.757600444	0.000999646	0.000999646	-1.80411E-06	0.000141933	-7.86625393	-0.003608531	-0.003608531	-0.003608531	0.1326953153	3.15906647
6.759579006	4.85217E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31330705	0.085625624	-0.394574148	-0.000746828	0.013157688	1.755081815	0.000999653	0.000999653	-1.96306E-06	0.000141843	-7.21525417	-0.003717584	-0.003717584	-0.003717584	0.1326953153	3.15906647
6.765021139	4.85057E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.3213345	0.085160237	-0.394075263	-0.00074708	0.013142516	1.755277315	0.00099778	0.00099778	-1.92438E-06	0.000141763	-6.92295957	-0.004096502	-0.004096502	-0.004096502	0.1326953153	3.15906647
6.759106688	4.85456E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.26496476	0.085407907	-0.393878878	-0.00074887	0.013127321	1.75452358	0.000995707	0.000995707	-2.05309E-06	0.000141	-6.86247781	-0.004123888	-0.004123888	-0.004123888	0.1326953153	3.15906647
6.737373456	4.85394E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.27735845	0.084977637	-0.39315292	-0.00074287	0.013114053	1.75584798	0.000994494	0.000994494	-1.9163E-06	0.000141284	-7.08974668	-0.003965959	-0.003965959	-0.003965959	0.1326953153	3.15906647
6.792147647	4.85394E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.18499489	0.084877729	-0.392008171	-0.000740345	0.013095224	1.757624719	0.000993795	0.000993795	-1.92732E-06	0.000141152	-7.75549968	-0.003879112	-0.003879112	-0.003879112	0.1326953153	3.15906647
6.797067459	4.85446E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.06713557	0.084826615	-0.392851399	-0.000741249	0.01309274	1.75407696	0.000993075	0.000993075	-1.81822E-06	0.000140982	-7.70029948	-0.0036618	-0.0036618	-0.0036618	0.1326953153	3.15906647
6.80090917	4.85301E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.19331364	0.084754664	-0.392191057	-0.000745966	0.013079886	1.755953137	0.000992529	0.000992529	-1.77403E-06	0.00014088	-7.8806251	-0.003574758	-0.003574758	-0.003574758	0.1326953153	3.15906647
6.801586462	4.85096E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.1458624	0.084709132	-0.392663978	-0.00074403	0.013076515	1.752739454	0.000992416	0.000992416	-1.66738E-06	0.000140806	-8.37970745	-0.00338065	-0.00338065	-0.00338065	0.1326953153	3.15906647
6.96293633	4.83096E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	15.87883661	0.082419666	-0.392942595	-0.000594826	0.0124297	1.925246545	0.000969419	0.000969419	-1.82759E-06	0.000140807	-0.937919672	0.037597608	0.037597608	0.037597608	0.1326953153	3.15906647
6.96707874	4.8293E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	15.88331701	0.082388974	-0.392969387	-0.000595422	0.012421288	1.924191819	0.000968842	0.000968842	-1.82632E-05	0.000186995	0.991876024	0.03770524	0.03770524	0.03770524	0.1326953153	3.15906647
6.963300689	4.83303E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	16.00517533	0.082417828	-0.392624545	-0.000599735	0.012440062	1.92										

RESUMEN INCERTIDUMBRES COMBINADAS					
η	$u(\eta)$	T^*	$u(T^*)$	T^{*2}_G	$u(T^{*2}_G)$
0.729193257	0.012968021	0.001213303	0.000138777	0.001502777	0.002883512
0.731649492	0.012965404	0.001255239	0.000138701	0.001609531	0.002995099
0.731456951	0.012952995	0.001295372	0.000138587	0.00171572	0.003096997
0.7325179687	0.012948181	0.001315671	0.000138399	0.00172632	0.003148094
0.727197755	0.012905917	0.001310541	0.00013818	0.001761747	0.003136106
0.727189528	0.012887828	0.001348433	0.000138005	0.001867355	0.003226762
0.730497148	0.012900421	0.001401645	0.000138051	0.002017318	0.003358429
0.730599458	0.012900849	0.001362471	0.000138093	0.001905342	0.003255442
0.728752343	0.012913021	0.001364824	0.000137914	0.001914393	0.003254612
0.729419773	0.012919905	0.001400803	0.000137878	0.002038362	0.003351739
0.73014249	0.01291409	0.00151006	0.000137852	0.002345753	0.003608419
0.730074483	0.012940421	0.001498039	0.000137828	0.002308853	0.003590966
0.732445692	0.012952115	0.001463069	0.000137684	0.002204358	0.003528781
0.732874998	0.012958246	0.001416169	0.000137641	0.002065601	0.003424362
0.733020247	0.012954349	0.001407927	0.000137583	0.002042433	0.003415643
0.72977398	0.012948074	0.001362523	0.000137462	0.001914231	0.003312794
0.731473434	0.012970879	0.001340731	0.000137463	0.001853337	0.003250064
0.730576591	0.012943046	0.001310461	0.000137269	0.001772945	0.003209284
0.731405853	0.012924986	0.001307933	0.000137248	0.001766364	0.003209472
0.728338233	0.012899224	0.001336369	0.000137107	0.001846082	0.003256494
0.606601903	0.012358896	0.02139466	0.000197662	0.0479636175	0.05229997
0.604282675	0.012344925	0.021475874	0.000198019	0.0483518559	0.052388204
0.600496312	0.012338578	0.021546664	0.000198334	0.0486883547	0.052398603
0.59446792	0.012333381	0.021632767	0.000198744	0.0490877887	0.052765948
0.599393866	0.012330324	0.021648602	0.000198772	0.0491872465	0.052451383
0.599567854	0.012336593	0.021702491	0.000199119	0.0493896248	0.052701905
0.597445206	0.012310662	0.021766148	0.000199232	0.0497909708	0.053037031
0.599540052	0.012310503	0.021759772	0.000199231	0.0497480142	0.052834393
0.604275479	0.012216315	0.021769373	0.000198773	0.049514085	0.053019042
0.601013935	0.012195685	0.021635316	0.000198407	0.0492874185	0.052835867
0.602188416	0.012304424	0.021748092	0.000199133	0.0497134209	0.053079527
0.602574473	0.012305934	0.021757808	0.000199194	0.0497508595	0.053101837
0.602495809	0.012286708	0.021704251	0.000198897	0.0495227702	0.052916012
0.596154786	0.012223333	0.021710299	0.000198948	0.0495389231	0.052867748
0.604275479	0.012216315	0.021769373	0.000198773	0.049514085	0.053019042
0.601013935	0.012195685	0.021635316	0.000198407	0.0492874185	0.052835867
0.604004579	0.012221162	0.021671488	0.000198771	0.0493752064	0.052736111
0.470527423	0.011978559	0.03955989	0.000239197	1.639902506	0.098965464
0.464346049	0.011967783	0.039614985	0.0002399516	1.644840567	0.100502237
0.474121202	0.011995995	0.039625463	0.0002399573	1.64586341	0.100222526
0.482990965	0.012001652	0.039639509	0.000239605	1.648458549	0.100165813
0.486940505	0.012025885	0.0397766579	0.000300389	1.658554648	0.099904332
0.476107819	0.011988553	0.039786328	0.000300494	1.660361107	0.099145322
0.468381238	0.012001999	0.039969754	0.000301684	1.670378791	0.099394547
0.47406054	0.012014125	0.040064703	0.000302342	1.67882732	0.099563979
0.472246036	0.012004406	0.040004306	0.000302294	1.676359621	0.099175345
0.474847858	0.012041096	0.040173683	0.000303157	1.684013818	0.099636715
0.482954523	0.012062196	0.040295279	0.000303096	1.692321118	0.100082854
0.483774866	0.012056039	0.040286973	0.000303925	1.691176622	0.099653191
0.481771455	0.012004555	0.040184515	0.000303177	1.686189142	0.099802082
0.488183215	0.012035593	0.040183885	0.000303195	1.685523121	0.099418626
0.485060225	0.012022322	0.040165662	0.000303104	1.683463387	0.099356777
0.488711113	0.012052617	0.040235641	0.000303684	1.68496137	0.098766864
0.486150349	0.012066751	0.040192744	0.000303048	1.679855748	0.098072161

AJUSTE CUADRÁTICO				
Coefficientes	Valores iniciales	Ajuste Solver	σ	χ^2
η_0	0.737	0.735463336	0.01298975	0.00054969
k_1	-5.897	-5.38969288	0.012987128	0.052980764
k_2	-0.0116	-0.02348996	0.012974717	0.05401866
			0.01296986	0.278893342
			0.012927598	0.08053476
			0.012900496	0.00555657
			0.012922101	0.041601047
			0.012930514	0.038077102
			0.012934623	0.002845365
			0.012940599	0.01515732
			0.012935723	0.049328177
			0.012962	0.044663468
			0.01297362	0.143794617
			0.012979712	0.153957307
			0.012975803	0.160176413
			0.012969487	0.017164767
			0.012992246	0.063725887
			0.012964393	0.029266696
			0.012946356	0.054897817
			0.0129206	8.75244E-05
			0.012465414	0.033576806
			0.01245654	0.106991096
			0.012443803	0.353638534
			0.012441703	1.070239047
			0.012437951	0.343646969
			0.012444911	0.34635995
			0.012420046	0.066064982
			0.012419411	0.314037339
			0.012420046	0.066064982
			0.012413917	0.124586849
			0.012415495	0.100427586
			0.012395862	0.12345367
			0.012332955	0.747107463
			0.012320459	0.060852396
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012336347	7.29638E-05
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744
			0.012303787	2.376515864
			0.012330957	0.546028594
			0.012355512	0.134000091
			0.012321121	0.097905729
			0.012312109	1.149260744

[illegible]

0,0,485385823	0,01181423	0,040475816	0,000304682	1,718036468	0,103180883	0,012171568	0,479839296	82,15868547	3,325439802	141,1516178
0,0,0,491914778	0,01181929	0,040427196	0,000304339	1,715305692	0,103039503	0,01217557	1,444611351	82,13168062	3,32035351	140,8809993
0,0,0,494272643	0,011824733	0,040422317	0,000304288	1,7155063	0,10338864	0,012182448	1,940493265	82,08530626	3,318078289	140,81786
0,0,0,489154033	0,011808552	0,040393467	0,000304045	1,715025818	0,103380154	0,012166527	0,922403039	82,19272707	3,3200492	140,9626489
0,0,0,490901035	0,011829219	0,040515132	0,000304873	1,722740558	0,102833412	0,012184634	1,371376724	82,07057939	3,325100369	141,3863157
0,0,0,489431696	0,01182085	0,040519348	0,000304862	1,724142166	0,102586877	0,012175355	1,11479701	82,13312761	3,327980805	141,6091885
0,0,0,495746035	0,011850061	0,040589581	0,000305371	1,727698886	0,103022447	0,012206111	2,586773596	81,92617345	3,325349031	141,5437586
0,0,0,501310558	0,011858697	0,040596727	0,000305418	1,728209428	0,102482637	0,012212024	4,273984233	81,88651028	3,324324291	141,5170391
0,0,0,316213363	0,011570241	0,059448862	0,000423876	3,660266463	0,145670491	0,012279999	1,096586332	81,43323323	4,841113084	298,0673326
0,0,0,343621588	0,011578211	0,059652253	0,000425148	3,687737061	0,146088918	0,012291525	1,756504072	81,35686686	4,853120384	300,0227331
0,3335605	0,011566373	0,05974892	0,000425846	3,692946314	0,146124359	0,01228131	0,313153209	81,42453771	4,865028194	300,6964464
0,0,364813016	0,011600475	0,059914149	0,000426893	3,714232896	0,146014224	0,012313764	10,29811608	81,20993514	4,865624183	301,6326126
0,0,0,349358792	0,011561765	0,059903942	0,000426805	3,714853085	0,14625204	0,012278777	3,82712931	81,44133758	4,878657133	302,5426041
0,35290732	0,011573128	0,059892427	0,000426713	3,714987525	0,145966506	0,012287511	5,012728766	81,38344857	4,874252288	302,3384962
0,0,353096105	0,011609011	0,059826542	0,000426349	3,701961737	0,144699699	0,0123127	4,822302039	81,21695702	4,85892971	300,6620673
0,0,365697824	0,011639537	0,059815678	0,000426267	3,701673316	0,144750887	0,012341734	10,28215671	81,02589315	4,846618762	299,9313865
0,0,338927817	0,011606078	0,059786691	0,00042607	3,699122146	0,144530498	0,012308556	1,046020426	81,24429684	4,857327671	300,5325777
0,0,331577185	0,011614448	0,059974486	0,000427309	3,719082874	0,143530526	0,012311243	0,297855157	81,22656466	4,871521497	302,0883255
0,0,312829621	0,011564811	0,059958962	0,000427172	3,720418635	0,143173274	0,012261983	0,97067597	81,55287851	4,889825968	303,4108489
0,0,314259354	0,011576152	0,060053092	0,000427775	3,731979365	0,143279702	0,012273976	0,646934965	81,47319154	4,892717041	304,0562696
0,320310328	0,011614168	0,060336175	0,000429717	3,755997257	0,143132477	0,012310856	0,019778592	81,22911866	4,90105428	305,0963468
0,335516869	0,011633765	0,060649468	0,000431838	3,785022209	0,142662711	0,012328494	1,65193762	81,11291116	4,919454888	307,0141605
						ΣChi^2	134,2667209			

Ejemplo de hoja de resultados de ensayos unificados e incertidumbres para captador serpentín y 140 l/h

Kpp&Zonen	K_Pyra #1	12.81	[μV/(W/m2)]	G_d	(Con disco solar)
Kpp&Zonen	K_Pyra #2	10.36	[μV/(W/m2)]	G_t	
Caudalímetros SIEMENS MAG 6000 4[mla]=0 [l/h] y 20 [mla]=200 [l/h]					
Aerodinámico Varsita V[m/s]= 0.328 + 0.101*H					

CANALES DATALOGGER														VALORES CALCULADOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
102 (C) / 104 (C)	103 (C) / 108 (C)	105 (C)	109 (Vdc)	110 (Vdc)	120 (Hz)	121 (Ade) / 122 (Ade)	dT	t _m	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G _d	G _d /G _t	v _{aire}	caudal	G _t	G<

68.911	75.545	29.625	0.001121	0.0107886	26.886346	0.0153408	6.6345	72.2285	104.367053	86.812553	8.336403103	3.04530921	141.9260333	74.69191228	4191.33485	978.268177	0.03866745	0.040913288	0.540206614	1.743141314
68.848	75.507333	29.46483	0.0011233	0.01071413	29.98048	0.01536032	6.659333333	72.1776667	103.974067	87.69021598	8.431961793	3.336029514	142.0039711	74.738993531	4191.304377	978.3042133	0.03866947	0.041071056	0.540509989	1.754261178
68.82733333	75.470167	29.38983	0.001126	0.0107066	29.950269	0.01537647	6.642333333	72.1409	103.832143	87.89843768	8.484574718	3.316617203	142.2050663	74.84821382	4191.280137	978.3157446	0.03866459	0.04129131	0.544664359	1.758613737
68.85933333	75.421633	29.37417	0.0011272	0.01074046	20.56549	0.01537075	6.5625	72.14056333	103.730333	87.99149102	8.482175563	2.405113229	142.134373	74.80136705	4191.282078	978.2897322	0.038664917	0.041228456	0.539344215	1.763193409
68.88966667	75.415	29.356	0.0011328	0.01076856	36.418727	0.01538161	6.525333333	72.15233333	103.8435972	88.42984626	8.507458725	4.006291427	142.2710708	74.87903278	4191.28914	978.2803827	0.038661144	0.041171265	0.53539349	1.762038448
68.867	75.438	29.30367	0.0011447	0.01075552	31.329733	0.01537148	6.571	72.1255	103.9412632	89.35673953	8.5890382104	3.492302304	142.134563	74.812346649	4191.289241	978.2933474	0.038672222	0.038620131	0.538820161	1.766862656
68.87666667	75.403333	29.2385	0.0011427	0.01075545	36.25572	0.01537888	6.528666667	72.14	103.870801	89.2039032	8.589411024	3.998927354	142.2359875	74.86701605	4191.281727	978.2878185	0.038665214	0.041327015	0.536303614	1.773114904
89.81566667	94.303667	27.95767	0.0012373	0.01015688	37.25471	0.01539955	4.488	92.0566667	103.50267	96.5919543	9.516200786	4.09282554	142.494433	74.99707018	4207.32482	965.227831	0.038205638	0.063153014	0.574071838	4.048234517
89.85433333	94.239833	27.88967	0.0012419	0.01049342	31.384108	0.0154024	4.3855	92.04708333	102.877928	96.9471163	9.571450711	3.497794942	142.5298684	75.0157818	4207.309789	965.2067574	0.03821414	0.063341707	0.566384415	4.063840271
89.943	94.360333	27.87933	0.0012346	0.01050461	33.3388	0.01539827	4.417333333	92.1516667	103.3954134	96.37008637	9.504676137	3.69472188	142.4538913	74.92941776	4207.415368	965.1470516	0.03816784	0.063581424	0.565942554	4.074082356
89.94833333	94.443333	27.8815	0.0012354	0.01050091	36.14374	0.01539861	4.4945	92.19558333	103.8301384	97.4040663	9.514648623	3.978512114	142.4823813	74.99843224	4207.459761	965.1345491	0.03819825	0.063581061	0.573606235	4.080796632
89.96166667	94.372633	27.85633	0.0012382	0.01050069	35.17059	0.01546217	4.391166667	92.17775	101.37981	96.65602394	9.536103913	3.880226476	143.2770625	75.40898026	4207.441225	965.121003	0.038411028	0.063459133	0.566504132	4.081730918
89.94733333	94.322167	27.94917	0.0012516	0.01046258	37.912131	0.01546071	4.374833333	92.13475	100.9308237	97.70251106	9.67439491	4.157125231	143.2583333	75.39385856	4207.398277	965.1441327	0.038407062	0.064006393	0.568242639	4.13141057
89.875	94.233333	27.46067	0.0012553	0.01046388	46.669905	0.0154342	4.416833333	92.08491667	100.988246	97.99651314	9.702641909	4.637660371	142.9274583	75.22497807	4207.34796	965.1918344	0.038320115	0.063984517	0.571083831	4.134961425
89.805	94.1955	27.401	0.0012627	0.01046716	41.937717	0.01546764	4.3905	92.00025	101.034379	96.57436898	9.756571528	4.563709383	143.3454375	75.44011647	4207.262573	965.239614	0.038434096	0.06393789	0.568834557	4.130339733
89.79083333	94.166333	27.3455	0.0012671	0.01043934	35.115907	0.01547617	4.3755	91.97858333	100.768655	98.91639344	9.816458475	3.87470659	143.4820979	75.505110417	4207.240742	965.2494943	0.038463074	0.064143828	0.56892988	4.14594166
89.7866667	94.091	27.25317	0.0012811	0.01042932	45.8874	0.01546862	4.362333333	91.90983333	100.6710216	100.0065444	9.933959187	4.962627417	143.3377458	75.45144518	4207.171528	965.2913156	0.038439441	0.064225698	0.56883154	4.152619572
89.75533333	94.021333	27.21067	0.0012914	0.01041384	46.87759	0.01545406	4.266	91.88833333	100.3196654	101.7779599	10.02569592	5.062633442	143.1307475	75.233197259	4207.1499	965.2733784	0.03837861	0.064343297	0.566494198	4.161574305
89.77083333	94.028667	27.19117	0.0012953	0.01039199	34.949257	0.01542774	4.257833333	91.88975	100.387436	101.1199844	10.08087439	5.061324908	143.1721708	74.06406988	4207.198012	965.2625958	0.038324649	0.064362151	0.560216521	4.173412833
89.90033333	94.1165	27.23067	0.0012811	0.0103747	11.372892	0.01541564	4.216166667	92.00841667	100.1419096	100.010929	9.986920498	1.476641926	142.6954458	75.10286623	4207.270804	965.1757868	0.038257275	0.064689594	0.535666892	4.190210584
89.975	94.27633	27.28367	0.001269	0.01040899	12.669434	0.0153663	4.300333333	92.1266667	100.4728764	99.3844233	9.859655644	1.610158	142.4566	74.87517599	4207.393142	965.1248411	0.038191209	0.064537516	0.561972747	4.184825594
89.8916667	94.2965	27.2975	0.0012732	0.01038712	24.42196	0.01538169	4.506333333	92.14233333	100.2617728	99.9894257	9.921299721	2.79462138	142.2710833	74.97515739	4207.405938	965.183309	0.038143796	0.06465753	0.576560632	4.193873887
23.27	32.335333	29.01817	0.001097	0.01031601	22.946633	0.01525377	8.914333333	27.8716667	995.7537001	86.69276971	8.699711555	2.645610152	140.6720875	74.03794079	4178.982322	997.5776644	0.03898609	0.03898609	0.001305142	
23.41566667	32.344	29.089	0.0011019	0.01032465	6.282361	0.01525916	8.928333333	27.87983333	996.6067728	86.01494827	8.630781127	0.962518672	140.73955	74.07344373	4178.982031	997.5769782	0.03899669	-0.00121328	0.768465525	0.001467062
23.4125	32.347333	29.18817	0.0011004	0.0103318	18.339636	0.01528863	8.935333333	27.88016667	997.2780245	86.50927536	8.613733909	2.180303189	140.4279271	73.93833698	4178.981973	997.5796782	0.038928587	-0.00131157	0.767149571	0.001715534
23.42966667	32.352167	29.208	0.0011082	0.01033724	17.744248	0.01525774	8.9225	27.89091667	997.8033333	86.5090867	8.669733556	2.120169067	140.7217078	74.06406988	4178.980102	997.5761103	0.038994613	-0.00131988	0.766942549	0.001738827
23.4315	32.3705	29.24533	0.0011102	0.01032854	16.835249	0.015234	8.939	996.9630792	996.9630792	86.66410356	8.692809732	2.203860114	140.4250386	73.90791557	4178.978352	997.5751756	0.03891237	-0.00134843	0.76738635	0.001812737
23.43333333	32.37	29.2453	0.0011047	0.01032978	20.29357	0.01525278	8.936666667	27.9016667	999.23482786	86.23472547	8.640336372	2.37651159	140.6597833	74.03146491	4178.976395	997.574741	0.03897402	-0.00134978	0.767652397	0.001810317
23.46166667	32.3815	29.3015	0.0011019	0.01033055	22.175403	0.01523178	8.945333333	27.90883333	999.29280783	86.0100508	8.608100508	2.567715669	140.3977334	73.8932814	4178.971695	997.5740692	0.03894623	-0.00136974	0.766331364	0.00194101
23.434	32.396167	29.35633	0.0010992	0.01036613	12.736648	0.01523333	8.952166667	27.91508333	1000.591281	86.80680458	8.575069867	1.614401443	140.66625	74.03050579	4178.975914	997.5748529	0.038979292	-0.0014404	0.76790336	0.002075974
23.439	32.416	29.417	0.0010965	0.01037314	15.099714	0.01524698	8.977	27.9275	1001.267938	85.6001171	8.549177468	1.853071468	140.5873083	73.99332418	4178.975173	997.5733973	0.03897566	-0.00148162	0.768219691	0.002197385
23.47633333	32.426167	29.477	0.0010968	0.01037157	3.4623495	0.01524367	8.978833333	27.92975	1001.116763	85.61670933	8.552209551	0.6716973	140.5456333	73.97419123	4178.972181	997.574206	0.038945968	-0.00153853	0.76824608	0.002369724
23.4685	32.433	29.57	0.0010969	0.01036087	2.6122073	0.01524502	8.9645	27.95075	1000.083752	85.62633359	8.561916285	0.591832941	140.5629588	73.98036623	4178.969719	997.5663967	0.038950173	-0.00161911	0.767917771	0.002621751
23.46483333	32.450833	29.64167	0.0010944	0.01037405	14.531701	0.01523882	8.9635	27.95783333	1001.356129	86.43420505	8.531850212	1.795701835	140.4852104	73.99584473	4178.968567	997.5672673	0.038928735	-0.00168155	0.768338063	0.002831455
23.45333333	32.468167	29.73517	0.0010945	0.01037305	18.723186	0.0152701	8.9935	27.96391667	1002.22534	85.72967734	8.53332027	2.219041771	140.872917	74.14541667	4178.9672917	997.5684939	0.0389307153	-0.00184697	0.771751509	0.003148051
23.45966667	32.468167	29.815	0.0010982	0.01037405	18.723186	0.0152701	8.9935	27.96391667	1002.22534	85.72967734	8.53332027	2.219041771	140.872917	74.14541667	4178.9672917	997.5684939	0.0389307153	-0.00184697	0.771751509	0.003148051
23.45633333	32.476333	29.83267	0.0011071	0.01040466	33.382863	0.01526562	9.02	27.96633333	1004.311213	86.42101223	8.605003221	3.696979246	140.8202313	74.11591114	4178.967115	997.566285	0.038921649	-0.00185832	0.770831049	0.003468248
23.45483333	32.482	29.768	0.0011116	0.01041736	26.892966	0.01524192	9.027166667	27.96841667	1005.538680	87.12112933	8.664141244	3.044189615	140.52395	73.95997368	4178.96676	997.569641	0.038939563	-0.00178867	0.768888222	0.003220668
23.45016667	32.503167	29.72083	0.0011212	0.01042469	27.376545	0.01524863	9.053	27.97666667	1006.244096	87.5271923	8.698405551	3.093031045	140.6078188	74.00411513	4178.965355	997.5707484	0.038962846			

44.7223333	52.9435	29.24717	0.0010945	0.01073865	17.335575	0.01522109	8.221166667	48.83291667	1036.54926	85.44293521	8.243071337	2.078893105	140.2636613	73.82299013	4181.306474	990.4189513	0.038568836	0.018895146	0.673540292	0.370075613
44.7495	52.931167	29.28183	0.001091	0.01074354	17.708289	0.01522168	8.181666667	48.84033333	1037.020601	85.19693625	8.212616718	2.11653177	140.270975	73.82682895	4181.308609	990.4074298	0.038590393	0.018860277	0.670026748	0.368878736
44.74933333	52.948	29.28783	0.0010914	0.01075869	25.281992	0.01522278	8.198666667	48.84866667	1038.483945	85.19968699	8.204254883	2.881481175	140.3484625	73.86761184	4181.31103	990.4075005	0.03861714	0.018833592	0.670843774	0.36644691
44.73383333	52.964333	29.18567	0.0010978	0.01076026	20.153817	0.01523459	8.2305	48.84908333	1038.635135	85.69765808	8.25098778	2.365355512	140.4323354	73.91175548	4181.31113	990.4140748	0.038635045	0.018931977	0.673157347	0.37267355
44.75116667	52.961667	29.16233	0.0010924	0.01076166	5.3458821	0.01523787	8.2105	48.85641667	1038.770093	85.27701015	8.209420997	0.86793409	140.4733342	73.9333443	4181.313242	990.4067228	0.038646043	0.01895904	0.672224446	0.373380906
68.93433333	75.5635	29.30917	0.0013358	0.01085604	18.518494	0.01523302	6.629166667	72.24891667	1047.880132	104.2798465	9.951505263	2.198387849	140.4172713	73.9014375	4191.347293	978.254825	0.038155398	0.040977731	0.532480078	1.759573518
68.9615	75.5795	29.31017	0.0013646	0.01086641	32.272269	0.01522802	6.618	72.24891667	1048.668176	106.5242299	10.15785515	3.587499152	140.3502875	73.96657237	4191.360312	978.2392758	0.038137823	0.040965734	0.530930517	1.759903738
68.98516667	75.5555	29.24733	0.0014034	0.01087445	35.842932	0.01520607	6.660333333	72.22533333	1049.4638571	109.5574681	10.43937511	3.948136149	140.0758875	73.72415132	4191.333077	978.2772357	0.038067327	0.040952824	0.532903011	1.76004965
68.87183333	75.502167	29.20933	0.0014349	0.01087062	29.738942	0.0151963	6.630333333	72.187	1049.287484	112.0157819	10.6754139	3.331633125	139.9537292	73.65985746	4191.309993	978.2905831	0.03803206	0.040955905	0.530135515	1.760318178
68.90766667	75.534833	29.22433	0.0014578	0.01086666	24.416783	0.01519411	6.627166667	72.22125	1049.098504	113.8045798	10.84784502	2.79405066	139.9263813	73.84546382	4191.330617	978.2700842	0.038023831	0.040984633	0.529855714	1.762212829
68.866	75.543	29.2	0.0014276	0.01087271	28.007336	0.01520319	6.633333333	72.22408333	1049.48906	111.4437809	10.61886065	3.227368098	140.0398792	73.70519956	4191.332324	978.2715146	0.038054729	0.041012204	0.535783369	1.763905507
68.96716667	75.5345	29.2155	0.0010724	0.01084339	6.8505722	0.01519648	6.577333333	72.2166667	1046.829302	84.46484517	8.049719465	2.34874097	140.1506396	73.76349452	4191.324844	978.2393914	0.0380857	0.041104466	0.535710781	1.76873972
69.005	75.6255	29.27783	0.0010663	0.01085084	7.7774158	0.01519039	6.6205	72.31525	1047.378008	83.73787406	7.947261962	1.113518992	139.8798854	73.82099232	4191.387333	978.21437	0.038009032	0.041090625	0.530030315	1.768444337
69.04883333	75.702333	29.33425	0.0010675	0.01084299	6.7336954	0.01520975	6.6535	72.37583333	1046.620335	83.11124122	7.940915962	1.008103232	140.121925	73.74831158	4191.423823	978.1892634	0.038073823	0.041116231	0.533943686	1.76935819
69.03	75.7425	29.33333	0.0010675	0.01085732	16.053666	0.01520972	6.7125	72.38625	1048.00431	83.33333333	7.951817384	1.943979883	140.1214667	73.74814035	4191.408684	978.2000519	0.038037684	0.041080888	0.537972027	1.766650771
68.96983333	75.731333	29.33717	0.0010697	0.010842	10.202598	0.0151986	6.7615	72.35058333	1046.524968	83.50277127	7.97905199	1.358462417	139.982447	73.67497259	4191.408694	978.2345053	0.0380937684	0.041101185	0.542143092	1.767902411
68.99133333	75.673867	29.34367	0.001064	0.01086428	29.99448	0.01519571	6.682333333	72.3325	1048.675595	83.0586027	7.920357892	3.33744243	139.9464354	73.65601864	4191.397739	978.2221959	0.038027419	0.040993453	0.534550947	1.76260703
68.965	75.667833	29.3365	0.001065	0.01087312	10.783156	0.01521482	6.702333333	72.3166667	1049.528652	83.14034608	7.921684266	1.417088793	140.1852833	73.78172807	4191.388189	978.236986	0.038092897	0.040951875	0.536636255	1.765550334
69.0125	75.681833	29.37017	0.0010616	0.01087701	13.151161	0.01521376	6.669333333	72.34716667	1049.904762	82.87399167	7.893477073	1.655319731	140.1720604	73.77476864	4191.406628	978.2100749	0.038088256	0.040934189	0.533740061	1.759228642
69.025	75.740333	29.24417	0.0010622	0.01088561	18.841421	0.01521267	6.707833333	72.38641667	1051.110569	82.9162243	7.888439781	2.230983555	140.1583396	73.76757346	4191.430382	978.1986199	0.038084095	0.040949308	0.536149815	1.762550334
69.00433333	75.758833	29.27883	0.0010696	0.01087289	28.803027	0.01522408	6.734333333	72.38158333	1049.507046	83.49549831	7.955687233	3.237105761	140.3010583	73.84266228	4191.427455	978.2147518	0.03812349	0.041069519	0.541263641	1.770209227
69.00416667	75.7355	29.23317	0.001073	0.01087947	15.319078	0.01522368	6.731833333	72.36983333	1050.142342	83.76038251	7.976098014	1.87526833	140.2960417	73.84002193	4191.420342	978.2148472	0.03812131	0.041132888	0.53945763	1.771923611
69.0445	75.772167	29.2733	0.0010687	0.01086422	9.44581972	0.01522252	6.727666667	72.40833333	1048.67019	83.42999897	7.955789189	1.281974009	140.2814583	73.83234649	4191.424659	978.1917459	0.038117268	0.041134661	0.543086893	1.774312742
69.0066667	75.7675	29.25133	0.0010746	0.01086361	31.826883	0.01523674	6.763833333	72.38583333	1048.610811	83.88847255	7.999962587	3.542949449	140.4592271	73.92590899	4191.429877	978.2151335	0.038166484	0.041134661	0.543086893	1.774312742
89.48066667	94.650333	29.35117	0.001065	0.01072483	15.003744	0.01517763	5.169666667	92.0655	1035.215685	86.37133342	8.343897474	1.843378166	139.6579042	73.50416009	4207.328367	965.4579743	0.037453844	0.060580934	0.414172156	3.799292902
89.51766667	94.721833	29.35517	0.001109	0.01072835	10.950799	0.01518102	5.204166667	92.11975	1035.651239	86.57240437	8.359223755	1.434030748	139.7627417	73.55933772	4207.383127	965.433128	0.037480995	0.060603976	0.417086332	3.803783333
89.5295	94.728333	29.33917	0.0011162	0.01071529	28.61635	0.01525329	5.198833333	92.12891667	1034.294273	87.13589864	8.424932046	3.218251384	140.6661667	74.03482456	4207.392385	965.4251803	0.037122961	0.060707819	0.419981717	3.811828808
89.54516667	94.6915	29.31333	0.0011159	0.01071835	28.024004	0.01523473	5.146333333	92.11833333	1034.589398	87.11531356	8.420278972	3.15842437	140.4341563	73.91271382	4207.381696	965.414657	0.037660331	0.060705242	0.414832083	3.812592736
89.5765	94.658667	29.25167	0.0011175	0.01072135	28.680005	0.01523444	5.082166667	92.11758333	1034.879151	87.23319022	8.429311787	3.224680471	140.4305104	73.91079496	4207.380939	965.3936071	0.037658532	0.060747109	0.409525446	3.818922698
89.56266667	94.643167	29.1967	0.0011283	0.0107118	33.100708	0.01525005	5.0805	92.10291667	1033.957722	88.07883164	8.518610555	3.671171458	140.6259579	74.01347259	4207.36613	965.402901	0.037712111	0.060914725	0.410327724	3.836607335
89.56666667	94.633333	29.0055	0.0011319	0.0107212	25.417083	0.01525318	5.066666667	92.1	1034.864752	88.36265938	8.538570783	2.895125366	140.6647979	74.03410417	4207.363185	965.4002137	0.037721618	0.060968837	0.408964354	3.846798262
89.61366667	94.649833	28.95717	0.0011329	0.01072083	15.58332	0.01525019	5.036166667	92.13175	1034.828764	88.43978663	8.546320866	1.901906432	140.6624208	74.014362302	4207.395247	965.3686323	0.037710361	0.061048345	0.406398417	3.856703753
89.66666667	94.725833	28.94033	0.0011363	0.01068881	17.479329	0.01525351	5.059166667	92.19625	1031.738701	88.70758522	8.597873149	2.093412212	140.6689	74.0362316	4207.460435	965.333007	0.037720092	0.061310016	0.409589155	3.878221267
89.66283333	94.7645	28.91467	0.0011434	0.01066042	24.554232	0.01523014	5.101666667	92.21366667	1028.997764	89.26213895	8.674667924	2.807977415	140.3767229	73.88248575	4207.47805	965.3355841	0.037641846	0.061515197	0.413272798	3.893850445
89.65516667	94.6965	28.781	0.0011505	0.010661	32.325997	0.01522656	5.041333333	92.17583333	1030.984636	89.81375228	8.711453993	3.592925697	140.3320521	73.85897419	4207.439792	965.3407382	0.037630069	0.061489145	0.407467091	3.89812297
89.66666667	94.633333	29.0055	0.0011518	0.01069485	22.87796	0.01522376	5.0435	92.21158333	1032.327182	89.91272443	8.709757554	2.63867396	140.2968542	73.84050128	4207.475943	965.3174309	0.037619749	0.061593339	0.404338608	3.910601061
89.75116667	94.756667	28.74883	0.0011509	0.01068398	17.044531	0.01522379	5.0055	92.25391667	1031.272571	89.84434036	8.711987781	2.049497612	140.2974125	73.84074342	4207.518779	965.2761813	0.037618264	0.061721628	0.410081255	3.920316085
89.81666667	94.8965	28.8405	0.0011457	0.0106612	17.789053	0.01519294	5.079833333	92.35658333	1029.073359	89.43825137	8.691144375	2.12469437	139.9117958	73.83787828	4207.622796	965.2321101	0.037513155	0.061623428	0.413004837	3.909662968
89.78966667	94.9025	28.90133	0.0011484	0.0106662	15.267446	0.01520505	5.112833333													

INCERTIDUMBRES DE MEDIDA										INCERTIDUMBRE COMBINADA RENDIMIENTO										INCERTIDUMBRE COMBINADA T ⁺										INCERTIDUMBRE COMBINADA T ⁺ G ⁺									
u (g ₁)	u (m)	u (Δ)	u (L _m)	u (L _{unm})	u (Δ _m)	c _f (m)	c _f (Δ)	c _f (Δ _m)	c _f G ₁	u(η)	%	c _f T ₁ (m)	c _f T ₁ (amb)	c _f T ₁ G ₁	u(T ₁)	%	c _f T ₁ G ₁ L ₁ (m)	c _f T ₁ G ₁ L ₁ (amb)	c _f T ₁ G ₁ L ₁ G ₁	u(T ₁) G ₁	%																		
[mW/m2]	[kg/s]	[°C]	[°C]	[°C]	[m/s2]	[cm/m]	[cm/Δ]	[cm/Δ _m]	[cm G ₁]																														
6.89644221	4.8558E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.4248393	0.0836302	-0.397154614	-0.000739192	0.012963044	1.71861894	0.000975669	-0.000975669	-1.46602E-06	0.000138603	9.281416452	0.002963735	-0.035440741	-0.035440741	-2.23971E-06	0.003556724	155.561339																	
6.895248142	4.85172E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.46951485	0.083656201	-0.39815215	-0.000740554	0.012970093	1.714511595	0.000978935	-0.000978935	-1.50208E-06	0.000138629	9.047789855	0.003606198	-0.036482813	-0.036482813	-2.35498E-06	0.003661207	152.230481																	
6.901783892	4.86037E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.420032872	0.083632865	-0.397425614	-0.000738802	0.012965124	1.716723841	0.000978008	-0.000978008	-1.53259E-06	0.000138715	8.853110818	0.003133701	-0.037326978	-0.037326978	-2.45002E-06	0.003746066	149.624212																	
6.919617949	4.85607E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.445005051	0.083646926	-0.397111547	-0.000738666	0.0129250504	1.712826219	0.000975674	-0.000975674	-1.53035E-06	0.000138715	8.811645718	0.003144004	-0.037480878	-0.037480878	-2.47125E-06	0.003761917	148.642427																	
6.925326685	4.85238E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.415050501	0.083248471	-0.3966691	-0.000734865	0.012908915	1.712804628	0.000975073	-0.000975073	-1.56592E-06	0.000138821	8.616559567	0.003210591	-0.038276283	-0.038276283	-2.57697E-06	0.003841114	145.3396458																	
6.930214382	4.85307E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.45755442	0.083140733	-0.397595301	-0.000736374	0.012905071	1.707770395	0.000975715	-0.000975715	-1.59967E-06	0.000138715	8.480807667	0.003286725	-0.039330749	-0.039330749	-2.69895E-06	0.003938634	141.6535164																	
6.930306688	4.85027E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.48496588	0.083159979	-0.397389978	-0.000735633	0.012897157	1.706943390	0.000973872	-0.000973872	-1.68466E-06	0.000138715	8.172636017	0.003328095	-0.040378107	-0.040378107	-2.85994E-06	0.00405187	137.986172																	
6.92804205	4.84998E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.46025649	0.083159979	-0.397389978	-0.000735633	0.012897157	1.706943390	0.000973872	-0.000973872	-1.68466E-06	0.000138715	8.172636017	0.003328095	-0.040378107	-0.040378107	-2.85994E-06	0.00405187	137.986172																	
6.93158627	4.85202E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.43534365	0.083251827	-0.397914521	-0.00073584	0.012916646	1.708466037	0.000973021	-0.000973021	-1.61566E-06	0.000138603	8.314661075	0.003320292	-0.039456155	-0.039456155	-2.75713E-06	0.003959613	139.738108																	
6.940001207	4.87338E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.45354784	0.08336155	-0.399171793	-0.000737673	0.012942058	1.706412244	0.000976822	-0.000976822	-1.65416E-06	0.000138628	8.11511811	0.00340147	-0.04034716	-0.04034716	-2.82971E-06	0.00408443	136.1229719																	
6.943003403	4.86838E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.40085089	0.083209866	-0.397768884	-0.000734688	0.012918006	1.710344823	0.00097209	-0.00097209	-1.73943E-06	0.000138604	7.712420682	0.003581787	-0.040608196	-0.040608196	-3.20712E-06	0.004282667	129.8163399																	
6.944702405	4.88333E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.38568283	0.083508884	-0.398614785	-0.000736134	0.012935803	1.717424797	0.000971964	-0.000971964	-1.74043E-06	0.000138604	7.712420682	0.003581787	-0.040608196	-0.040608196	-3.20712E-06	0.004282667	129.8163399																	
6.95174107	4.88571E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.39710116	0.083471836	-0.399074666	-0.000736209	0.012951102	1.728327653	0.000971054	-0.000971054	-1.69866E-06	0.000137353	7.887585626	0.003494568	-0.042007072	-0.042007072	-3.05351E-06	0.004214646	134.023674																	
6.95216197	4.88808E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.39388804	0.08350308	-0.399153438	-0.000736358	0.012955479	1.70823758	0.000970921	-0.000970921	-1.64272E-06	0.000137786	8.17267375	0.003393507	-0.040883736	-0.040883736	-2.87848E-06	0.004102479	138.3787893																	
6.95490686	4.88916E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.32967905	0.08343222	-0.397513222	-0.000737535	0.012935586	1.712847796	0.000970538	-0.000970538	-1.63596E-06	0.000137786	8.17267375	0.003393507	-0.040883736	-0.040883736	-2.87848E-06	0.004102479	138.3787893																	
6.960020994	4.88804E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.32967905	0.08343223	-0.39751323	-0.000737535	0.012935586	1.712847796	0.000970538	-0.000970538	-1.63596E-06	0.000137786	8.17267375	0.003393507	-0.040883736	-0.040883736	-2.87848E-06	0.004102479	138.3787893																	
6.959449916	4.88927E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.33691356	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.9686823	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.969678511	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-0.000732585	0.012926181	1.70830975	0.000969904	-0.000969904	-1.58981E-06	0.000137617	8.39530728	0.00327876	-0.040616719	-0.040616719	-2.74788E-06	0.003903026	142.2481341																	
6.973582	4.8758E-05	0.1	0.1414	0.1	0.00285	19.31995017	0.083319483	-0.398625234	-																														

6.959146296	4.7037E-05	0.1	0.1414	0.1	0.1	0.00285	10.82823144	0.08085263	-0.214456564	-0.000396221	0.011783555	2.891903447	0.000969947	-0.000969947	-5.95416E-05	0.000437134	0.71090773	0.122979201	-1.411695464	-0.003780971	0.144126397	3.697328132
6.96172022	4.70247E-05	0.1	0.1414	0.1	0.1	0.00285	10.81894653	0.080899128	-0.21421371	-0.000394283	0.011765464	2.880734459	0.00096869	-0.00096869	-5.95639E-05	0.000437076	0.710817629	0.122978289	-1.411939959	-0.003780915	0.144168458	3.693415218
6.96108953	4.70228E-05	0.1	0.1414	0.1	0.1	0.00285	10.74846536	0.080778865	-0.212809794	-0.000392077	0.011771865	2.911387813	0.000969676	-0.000969676	-5.9712E-05	0.000437698	0.710786296	0.123158678	-1.41369088	-0.003792016	0.144336626	3.693005441
6.96245174	4.68914E-05	0.1	0.1414	0.1	0.1	0.00285	10.93166531	0.080727305	-0.21583224	-0.000398496	0.011774599	2.871284391	0.000971748	-0.000971748	-5.99779E-05	0.000438701	0.710774214	0.123443257	-1.420333747	-0.00380559	0.145003815	3.68677867
6.949500833	4.6943E-05	0.1	0.1414	0.1	0.1	0.00285	10.99749814	0.080778075	-0.217370967	-0.000401149	0.011786602	2.853865412	0.000971293	-0.000971293	-5.98544E-05	0.000438052	0.710852674	0.123246866	-1.41537591	-0.003797447	0.144503421	3.69038348

RESUMEN INCERTIDUMBRES COMBINADAS

Eff	u(Eff)	Xm	u(Xm)	Xm2g_1	u(Xm2g_1)
0.754593767	0.012969044	0.001496567	0.000138903	0.002286381	0.003556724
0.756488084	0.012970093	0.001534399	0.000138829	0.002405043	0.003661207
0.755106282	0.012963124	0.00156665	0.000138715	0.002510225	0.003746066
0.754511939	0.012924504	0.001572702	0.000138621	0.002530428	0.00376129
0.753671101	0.012908915	0.001605296	0.000138321	0.002642852	0.003841111
0.755435059	0.012900571	0.001643063	0.00013815	0.002772531	0.003958634
0.756048106	0.012897757	0.001691047	0.000138198	0.002936363	0.00405167
0.755040958	0.012898832	0.001645422	0.000138233	0.002778844	0.003991531
0.756037589	0.012916645	0.00166046	0.000138062	0.002833575	0.003959613
0.758437236	0.012942058	0.001700873	0.000138028	0.002974402	0.004048843
0.75576107	0.012919606	0.001789374	0.000138004	0.003293791	0.00427568
0.758146865	0.012953603	0.001790843	0.000137987	0.003299629	0.004292867
0.75748885	0.012951102	0.001747429	0.000137855	0.003144488	0.004214646
0.758391533	0.012955479	0.001696604	0.000137786	0.002964674	0.004102479
0.7555990139	0.012935586	0.001685339	0.000137725	0.002929691	0.004088632
0.755748535	0.012935604	0.001657673	0.00013761	0.002833377	0.004030426
0.758652836	0.012963557	0.001639138	0.000137611	0.002770144	0.003979566
0.756318814	0.012926181	0.001597899	0.000137407	0.002636001	0.003913225
0.75532503	0.012886298	0.001585687	0.000137382	0.002596891	0.003895918
0.756210732	0.012904261	0.001632793	0.000137253	0.002755882	0.003971842
0.648862497	0.012356116	0.02186656	0.000200002	0.5010325	0.053458349
0.650215944	0.012348857	0.021981345	0.000200053	0.506547264	0.053472725
0.650262302	0.01234959	0.022059912	0.000200844	0.509949398	0.053619835
0.642393356	0.012330109	0.022108552	0.000201116	0.51271205	0.05393142
0.651301791	0.012334318	0.022515607	0.000201282	0.514995325	0.053951545
0.646430065	0.012331234	0.022193535	0.000201234	0.516499044	0.053898281
0.646493157	0.012304225	0.022233968	0.000201662	0.519024201	0.05385978
0.647046472	0.012291456	0.022233941	0.000201602	0.519366344	0.053905616
0.65069381	0.012365634	0.022209155	0.000201447	0.518383876	0.054120961
0.651400882	0.012395845	0.022215077	0.000201468	0.518712198	0.05423702
0.64687347	0.012356888	0.022219942	0.000201505	0.518867122	0.05402329
0.650659977	0.01236884	0.022184859	0.000201299	0.517402675	0.05405453
0.64656398	0.012354776	0.022180632	0.000201298	0.517085982	0.054017808
0.651935551	0.012358276	0.022139801	0.000201001	0.515709763	0.054113549
0.648120136	0.012333192	0.0222091805	0.000200687	0.513899567	0.053953615
0.653555692	0.012370549	0.022111206	0.000200951	0.513849698	0.053823463
0.651271054	0.012364014	0.022098027	0.000200845	0.513460555	0.053559645
0.650198875	0.012360737	0.022057555	0.000200507	0.511235288	0.053497231
0.649327012	0.012361161	0.022056171	0.000200581	0.511826303	0.053497803
0.650009028	0.012364907	0.022072303	0.000200681	0.512469204	0.053296558
0.542652572	0.012183412	0.040819923	0.000307042	1.739302899	0.101013339
0.542361679	0.012138051	0.040816434	0.00030704	1.738456979	0.100989146
0.545754299	0.012170318	0.040861361	0.000307467	1.737775793	0.100323668
0.545744951	0.012188735	0.040854129	0.000307478	1.735585735	0.099708076
0.539977495	0.012166065	0.040824317	0.000307315	1.732556778	0.099339678
0.539948688	0.012184012	0.040835336	0.000307413	1.732753824	0.099480347
0.540320242	0.012180723	0.040817739	0.000307252	1.73256556	0.099549475
0.543739734	0.012211497	0.040886435	0.000307774	1.738030351	0.099312499
0.545378862	0.012197238	0.040918472	0.000307878	1.740753639	0.099401855
0.533942719	0.012198054	0.04117265	0.000309432	1.762038448	0.097866944
0.538820131	0.012198933	0.041234795	0.000309826	1.766862856	0.096995036
0.536030514	0.012210294	0.041327015	0.000310441	1.773114904	0.09726767

ALISTE CUADRATICO

Coefficientes	Valores Iniciales	Ajuste Solver	σ	CHI²
n_0	0.7628	0.762595228	0.012963556	0.010523234
k_1	-4.446	-4.41899932	0.012994906	0.003190906
k_2	-0.02421	-0.02458493	0.012977935	0.001492181

MATRIZ [X]

C1	C2	C3
77.0187245	0.115263701	0.176094119
77.0124949	0.118167902	0.16821834
77.05385813	0.120731864	0.193422508
77.28380155	0.121491695	0.195561132
77.37708303	0.12421309	0.204486151
77.42713816	0.127217638	0.214689163
77.44378958	0.130961114	0.22740306
77.4344412	0.121471309	0.215186599
77.3307466	0.128405163	0.21912341
77.17951661	0.131272576	0.229562918
77.31310507	0.138342074	0.254653172
77.11065783	0.138093118	0.25443657
77.12579397	0.134771849	0.242521943
77.09998553	0.130808122	0.228576292
77.21837359	0.130139131	0.225986601
77.21847637	0.128002968	0.218789073
77.05240341	0.126299536	0.213446215
77.25202089	0.123477673	0.203697002
77.51369759	0.12927993	0.201294588
77.4061059	0.126388142	0.213322119
80.27480993	1.755341594	40.22028822
80.31992688	1.765539991	40.68583919
80.30977231	1.770903747	40.95392005
80.43112606	1.7782157	41.23800755
80.31205324	1.779041033	41.36033197
80.42352418	1.7848823	41.53867333
80.59762534	1.792005058	41.83211807
80.67786419	1.793786686	41.90136216
80.19998492	1.781173858	41.57437903
80.0596798	1.777338761	41.50011952
80.25313038	1.783219885	41.64071077
80.18031608	1.778789002	41.48551003
80.27134638	1.780469187	41.50718793
80.24158922	1.77653281	41.38137092
80.41181658	1.77644217	41.3239776
80.17464863	1.772758211	41.19771899
80.229655	1.772725085	41.19030145
80.2443703	1.769994613	41.1343486
80.24074751	1.769803608	41.06932512
80.21998188	1.770639715	41.11027024
79.95043505	3.263570597	139.0580235
80.23464521	3.274892139	139.4844789
80.05252443	3.271044061	139.1128699
79.95641678	3.26654974	138.772016
80.10794393	3.27035206	138.7915612
79.99306916	3.266591823	138.6082965
80.01056737	3.265822547	138.6235532
79.82603622	3.264600269	138.7400704
79.91164708	3.269862499	139.1064904
80.17481768	3.277841252	139.6548849
79.9618419	3.284117301	140.2738549
79.84992415	3.284157996	140.4278591
79.80873833	3.290391208	140.7182414
79.94850655	3.291691869	140.8723424
79.96805675	3.297466427	141.2925891
79.88658611	3.301474121	141.6480964

MATRIZ [M]

4.07894E-06	-0.000222933	2.52243E-06
0.024746294	-0.000354768	5.53922E-06

RESULTADOS FINALES

$u(n_0) =$	0.0020196	0.26%
$u(k_1) =$	0.1573095	3.56%
$u(k_2) =$	0.0023521	9.57%
$cov(n_0, k_1) =$	0.0000025	
$cov(k_1, k_2) =$	-0.0003548	



0,374071838	0,01207689	0,063153014	0,000448474	4,048234517	0,136098398	0,012687567	0,61189517	78,81731715	4,977551149	319,0709838
0,366384415	0,012092215	0,063341707	0,000449777	4,063840271	0,135760526	0,012700869	1,66623204	78,73477262	4,987194877	319,9655397
0,368214254	0,012069013	0,063387811	0,000450027	4,074082536	0,136773834	0,012685535	1,237055548	78,82994379	4,996857601	321,1596974
0,375086735	0,012092973	0,063451061	0,000450448	4,080796832	0,13678019	0,012708665	0,285639628	78,68646975	4,992740001	321,1034965
0,368504132	0,012147191	0,063459153	0,000450501	4,081750918	0,136505587	0,012758526	1,08922674	78,37895861	4,973862358	319,9233863
0,380246898	0,012156355	0,063491287	0,000450695	4,08700291	0,135490398	0,012760848	0,010405241	78,36469914	4,975475583	320,2767534
0,373932718	0,01214461	0,063564659	0,000451212	4,092091446	0,135932386	0,01275286	0,315793239	78,41378416	4,984345436	320,8763754
0,366817202	0,012133797	0,063544613	0,000451065	4,091240446	0,136225825	0,012744355	1,275203794	78,4661109	4,986098613	321,0237266
0,367909528	0,012124077	0,063572501	0,000451218	4,097327175	0,135801151	0,012732465	1,046695132	78,53938675	4,992945267	321,8015636
0,368537187	0,012145201	0,063803925	0,000452802	4,117841489	0,135699425	0,012753023	0,726720471	78,41278236	5,003043253	322,8914085
0,368426369	0,012187913	0,064006393	0,00045417	4,13741057	0,135840818	0,01279556	0,563675243	78,15210795	5,002234522	323,3473575
0,371083831	0,012164383	0,063984517	0,000454026	4,134951425	0,135417851	0,012770335	0,309663	78,30648084	5,010402357	323,7934945
0,369834557	0,012192814	0,06393789	0,000453712	4,130339733	0,134608217	0,012792038	0,459901516	78,17362764	4,998256795	322,8836403
0,36982988	0,012232562	0,064143828	0,000455149	4,14594166	0,134263362	0,01282874	0,331485369	77,94997625	5,00000986	323,176054
0,36883154	0,012234703	0,064225698	0,000455716	4,152619572	0,132930201	0,012822782	0,375590333	77,98619895	5,008718092	323,8470161
0,360649198	0,012221439	0,064343297	0,000456536	4,161574305	0,132023278	0,012805027	1,42784059	78,09433074	5,024846704	324,9953601
0,360216521	0,012229184	0,064509415	0,000457694	4,174312835	0,131682288	0,012811105	1,314196218	78,05728105	5,035429511	325,8355101
0,356666892	0,012223238	0,064685954	0,0004589	4,190210584	0,133222785	0,012815899	1,773044086	78,02808113	5,0473209	326,9540914
0,361972747	0,012172585	0,064537816	0,000457806	4,184825594	0,134543727	0,012775199	0,964479858	78,27666462	5,051804968	327,5741895
0,379640632	0,012209181	0,06467553	0,000458781	4,193873987	0,134146912	0,01280824	0,21599333	78,07473818	5,0495251	327,4356135
0,767548844	0,013317737	-0,001144861	0,000142235	0,001305142	0,002641908	0,013332719	3,034E-05	75,00345741	-0,085868565	0,097890164
0,768465525	0,013316166	-0,001213284	0,000142139	0,001467062	0,002821996	0,013331152	0,001670484	75,01227352	-0,091011162	0,110047664
0,767149571	0,013284661	-0,00131157	0,000142083	0,001715534	0,003056598	0,013299703	0,008131632	75,18965068	-0,098616495	0,128990375
0,766942549	0,013297035	-0,001319983	0,000142012	0,001738527	0,003056481	0,013312048	0,011749163	75,11992199	-0,099156992	0,130598021
0,76738635	0,013284208	-0,001348428	0,000142144	0,001812737	0,003114123	0,013299271	0,007130438	75,19209169	-0,101391152	0,136303506
0,767632591	0,013291369	-0,001346795	0,000141989	0,001810317	0,003129099	0,013306393	0,004271062	75,15184412	-0,101214146	0,136048681
0,766033164	0,013252942	-0,001393736	0,000141842	0,00194101	0,003250199	0,013267997	0,040595044	75,36932743	-0,105044974	0,146292634
0,76790326	0,013264462	-0,001440398	0,000141672	0,002075974	0,003371649	0,013279487	0,005739527	75,30411487	-0,108467921	0,156329391
0,768219691	0,013251632	-0,001481621	0,000141596	0,002197985	0,003478792	0,013266672	0,004288443	75,37685293	-0,111679958	0,165677218
0,76826408	0,013250141	-0,001538532	0,000141645	0,002369724	0,003611144	0,013265214	0,006526568	75,38513714	-0,115982433	0,178641942
0,767917771	0,013261832	-0,001619114	0,000141831	0,002621751	0,00379601	0,013276962	0,017729708	75,31843679	-0,121949165	0,197466186
0,768358063	0,013242948	-0,001681553	0,000141685	0,002831455	0,003956192	0,013258097	0,014533595	75,42560315	-0,126832144	0,213564192
0,770318027	0,013267498	-0,001770904	0,000141726	0,00314055	0,004166461	0,013282667	3,71807E-06	75,28608762	-0,1333244	0,236439714
0,77175709	0,013273837	-0,001846973	0,000141657	0,003418901	0,004334251	0,013289017	0,006655595	75,25011329	-0,13898494	0,257272706
0,770831049	0,013243829	-0,001858322	0,000141372	0,003468248	0,00433519	0,013258984	6,77787E-05	75,42056091	-0,140155666	0,261577191
0,768882322	0,013201615	-0,001789674	0,000141161	0,003220668	0,004146755	0,013216737	0,013617164	75,66163942	-0,135409688	0,243681017
0,771001142	0,013206554	-0,001733344	0,00014103	0,00302324	0,004000529	0,013221616	0,003852032	75,6337212	-0,131099219	0,228658888
0,772311801	0,01321121	-0,001626492	0,000140871	0,002663923	0,003740499	0,013226187	0,038483205	75,60757807	-0,122975111	0,201412737
0,771161339	0,013190724	-0,001577459	0,000140768	0,002507109	0,003619368	0,013205683	0,015743471	75,72497427	-0,119453069	0,189850744
0,773562955	0,01322655	-0,001475887	0,000140702	0,00219489	0,003378285	0,013241417	0,115479919	75,52061978	-0,111459923	0,165759482
0,667128914	0,012566301	0,019329399	0,000189258	0,38541211	0,046662912	0,012646242	0,002062903	79,0748721	1,528469759	30,47641327
0,665617791	0,012549632	0,019354642	0,000189317	0,38664929	0,047081855	0,012630636	0,023677582	79,17257507	1,53235682	30,6120199
0,666779492	0,01255638	0,019392285	0,000189546	0,38794427	0,047308996	0,012637392	0,002132884	79,1269434	1,534452209	30,69684432
0,667729182	0,012548478	0,019397669	0,000189595	0,38806491	0,047414409	0,012630323	0,000967137	79,17453868	1,535801468	30,72486021
0,669831849	0,012563364	0,019319004	0,00018926	0,384805579	0,047234437	0,012644608	0,026740336	79,08509516	1,527845262	30,43238584
0,673236149	0,012573223	0,019207094	0,000188686	0,380566166	0,047040445	0,012653799	0,148318658	79,02764963	1,517891521	30,07524961
0,673219527	0,012580622	0,019139093	0,000188356	0,377934891	0,046712017	0,01266032	0,125858469	78,9869469	1,511738549	29,85192319
0,672167002	0,012560513	0,019083625	0,000188048	0,37593946	0,046222722	0,012639161	0,061906263	79,11917654	1,509880692	29,74402051
0,66932174	0,012539882	0,019125903	0,000188085	0,378206767	0,046189477	0,012618596	0,001845281	79,24811888	1,515691852	29,97217483
0,67106237	0,01255263	0,019141884	0,000188246	0,378510026	0,046225472	0,012631391	0,034930206	79,16784451	1,515421724	29,96582288
0,66984003	0,012555998	0,01910311	0,000188115	0,376792919	0,046336609	0,012634946	0,005358029	79,14557262	1,511926556	29,82149137
0,670943499	0,012522954	0,019048368	0,000187687	0,375294125	0,046365214	0,012602047	0,019274554	79,35218545	1,511529646	29,78040901
0,667534729	0,012483577	0,018945667	0,000186863	0,372564953	0,046756372	0,012563555	0,03011194	79,59530525	1,507986109	29,65442116
0,672433254	0,012512273	0,018979685	0,000187117	0,373542338	0,04659923	0,01259179	0,052777375	79,41682548	1,507306309	29,66554669
0,67325701	0,012520191	0,018949906	0,000187021	0,372214058	0,046242546	0,012598836	0,079496715	79,37241093	1,504099742	29,54352713
0,673540292	0,012515665	0,018895146	0,000186766	0,370075613	0,046068483	0,012593878	0,079055053	79,4036577	1,500343736	29,38535732
0,670026748	0,012501907	0,018860277	0,00018656	0,368878736	0,046152718	0,012580333	0,000153902	79,48914875	1,499187397	29,32185671
0,670843774	0,012494882	0,018835952	0,000186307	0,36844691	0,046138872	0,012573248	0,001864052	79,53394407	1,498097522	29,30403595
0,673757347	0,012507532	0,018931977	0,000186736	0,372267355	0,046114663	0,01258589	0,099732507	79,45405824	1,504222417	29,57815214
0,672224446	0,012505122	0,01895904	0,000186848	0,373380906	0,046412356	0,012584189	0,042318319	79,46479419	1,50657618	29,67063683
0,532480078	0,011959846	0,040977731	0,000307768	1,759573518	0,083609524	0,012211175	0,223705937	81,89219802	3,355756448	144,095343
0,530930517	0,011943195	0,040965784	0,00030765	1,759903738	0,081939086	0,012187955	0,365638965	82,04822046	3,36116968	144,3969699
0,53290511	0,011918875	0,04095234	0,000307525	1,76004965	0,079773418	0,012155359	0,201106199	82,26824233	3,369076995	144,7961911
0,530135515	0,011905295	0,040958905	0,000307575	1,760318178	0,078080433	0,012135414	0,454916585	82,40345078	3,375155135	145,0562924
0,529865714	0,011904365	0,040984633	0,000307742	1,762212829	0,07693116	0,012130147	0,467579202	82,43923154	3,378741611	145,2754715
0,530952363	0,011911486	0,040995266	0,000307784	1,763783746	0,078553716	0,012143437	0,34399971	82,34901065	3,375919607	145,2458465
0,535768379	0,011932891	0,041012204	0,000307898	1,764905507	0,102918641	0,012273845	0,032240989	81,47405995	3,341430749	143,794017
0,52710781	0,011923382	0,041104486	0,000308596	1,76873972	0,103816794	0,012269517	0,713286047	81,50280176	3,350130748	144,1572428
0,530003015	0,011918268	0,041090625	0,000308482	1,768434337	0,104418845	0,012267581	0,377360044	81,5156		

0.533943686	0.011953159	0.041116231	0.00030868	1.76935819	0.104565668	0.012302332	0.079072389	81.28540432	3.342149452	143.8229959
0.537972072	0.011947956	0.041080858	0.000308387	1.768650771	0.104335866	0.012295953	0.001033491	81.32757366	3.341006533	143.8400759
0.542143092	0.011962097	0.041101185	0.000308594	1.767902411	0.104036818	0.012308266	0.141977122	81.24621565	3.339315768	143.6353805
0.534550947	0.011920216	0.040993453	0.000307819	1.762260703	0.104517431	0.012269655	0.084619845	81.50188404	3.341043622	143.6275674
0.536636255	0.011934558	0.040951875	0.000307519	1.760118434	0.104394004	0.012282808	0.019615408	81.41460579	3.334080799	143.2993484
0.533740061	0.011923032	0.040934189	0.00030739	1.759228642	0.104714595	0.012273197	0.147680541	81.47836436	3.33525077	143.3390723
0.536149815	0.011914944	0.040949308	0.000307414	1.762550334	0.104820939	0.012265897	0.030960826	81.52685661	3.338468327	143.6951883
0.541263641	0.011953814	0.041069519	0.000308234	1.770209227	0.104258891	0.012301176	0.089255931	81.29303878	3.338666033	143.9056874
0.539060749	0.011941995	0.041076971	0.000308244	1.771923611	0.104017211	0.012288458	0.015853584	81.37717526	3.342727878	144.1941382
0.53945763	0.011956646	0.041132888	0.000308666	1.774260263	0.104419467	0.012304962	0.033395881	81.26802881	3.342788717	144.1906342
0.543086893	0.011979207	0.041134661	0.00030868	1.774312742	0.103858546	0.012324028	0.228187595	81.14230117	3.337761034	143.9718189
0.414172156	0.011697891	0.060580934	0.000431137	3.799292902	0.147954284	0.012397638	1.047620663	80.66052468	4.88648994	306.4529589
0.417068352	0.011706449	0.060603976	0.000431266	3.803783333	0.147752741	0.012404349	1.621981925	80.61688681	4.885703913	306.6491704
0.419881717	0.011796748	0.060707819	0.000431988	3.811828808	0.146896166	0.012483983	2.382103217	80.10264302	4.862856792	305.3375622
0.414832083	0.011766371	0.060705242	0.000431959	3.812592736	0.146969152	0.012455783	1.304368101	80.28399526	4.873659377	306.0901772
0.409625446	0.011753565	0.060747109	0.000432215	3.818922698	0.146923204	0.012443531	0.553730207	80.36303892	4.881822293	306.9002335
0.410327724	0.011780222	0.060914725	0.000433327	3.836607335	0.145851142	0.012461858	0.813135252	80.24465457	4.888093226	307.8679977
0.408964354	0.0117771219	0.060968837	0.000433636	3.846798262	0.145660761	0.012452211	0.692680079	80.30702303	4.896225766	308.9249166
0.406398417	0.011763996	0.061048345	0.000434147	3.856703153	0.145729476	0.012446216	0.454691715	80.34570273	4.904972172	309.8695732
0.409589155	0.011805639	0.061310016	0.000435952	3.878221267	0.145516899	0.012485315	1.129418684	80.09409651	4.910570343	310.6226284
0.413272798	0.011818502	0.061515197	0.000437382	3.893850445	0.144765824	0.01249318	2.132346384	80.04367184	4.92390223	311.6780872
0.412324292	0.011808779	0.061532713	0.000437478	3.897533317	0.14405339	0.012479066	1.958201734	80.13420017	4.930874739	312.325715
0.407467091	0.011783555	0.0614896	0.000437134	3.89812297	0.144126397	0.012455475	0.995826779	80.2859784	4.936752731	312.9646166
0.40700605	0.011765464	0.061489145	0.000437076	3.90312081	0.144158458	0.012438546	0.944628867	80.39524916	4.943435099	313.79237
0.404338608	0.0117771865	0.061579339	0.000437698	3.910601061	0.144336626	0.012446275	0.646092743	80.3453212	4.947611779	314.1984983
0.410081255	0.011774599	0.061721628	0.000438701	3.920316085	0.145003815	0.012454237	1.779688288	80.29396113	4.955874022	314.7777073
0.413004837	0.011786602	0.061623428	0.000438052	3.909682968	0.144503421	0.012461627	2.286340301	80.2463461	4.945054912	313.7377726

ΣCHI^2 46.18409896

ANEXO VI

Resultados de simulaciones en AcSol. Residencia de estudiantes, captador tipo parrilla, 80 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 10:41:18

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	90.00	82.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	14088.00	0.00	0.00	0.00	14088.00
Febrero	12452.75	0.00	0.00	0.00	12452.75
Marzo	12875.17	0.00	0.00	0.00	12875.17
Abril	12786.32	0.00	0.00	0.00	12786.32
Mayo	12053.12	0.00	0.00	0.00	12053.12
Junio	11025.62	0.00	0.00	0.00	11025.62
Julio	9574.07	0.00	0.00	0.00	9574.07
Agosto	8404.64	0.00	0.00	0.00	8404.64
Septiembre	9602.86	0.00	0.00	0.00	9602.86
Octubre	11000.35	0.00	0.00	0.00	11000.35
Noviembre	12313.06	0.00	0.00	0.00	12313.06
Diciembre	13659.70	0.00	0.00	0.00	13659.70

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 115.80 [m²]

Conexión de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.74 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 5.24 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.01 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 9264.00 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 1.89 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 57900.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 14.60 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.27 **La efectividad del intercambiador es MUY PEQUEÑA (**

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 9264.00 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 7999.46 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 1.89 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.87 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 70.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 90.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

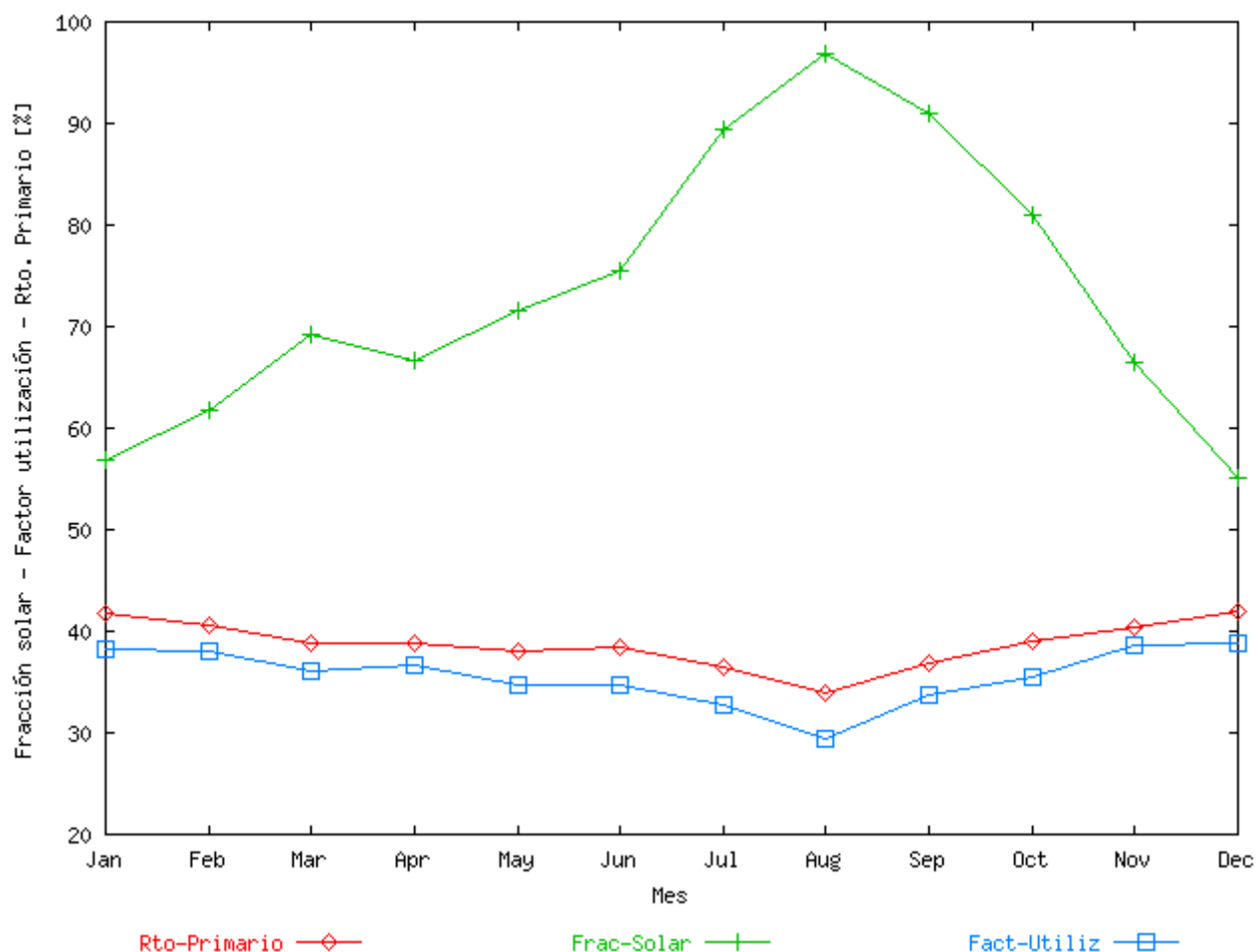
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol > 110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	62.04	39.69	38.43	3043.50	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	48.04	42.38	40.49	239.50	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	52.39	41.50	40.64	218.50	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	59.00	39.69	38.72	257.50	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	56.78	39.70	39.18	255.50	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	61.64	38.95	37.41	275.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	64.95	39.24	37.46	270.00	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	78.77	37.79	36.28	274.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	90.15	36.32	34.39	277.00	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	81.08	38.72	37.64	259.00	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	70.86	40.34	38.98	254.50	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	56.49	41.28	41.21	236.50	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	46.56	42.54	41.17	226.00	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3043.50



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

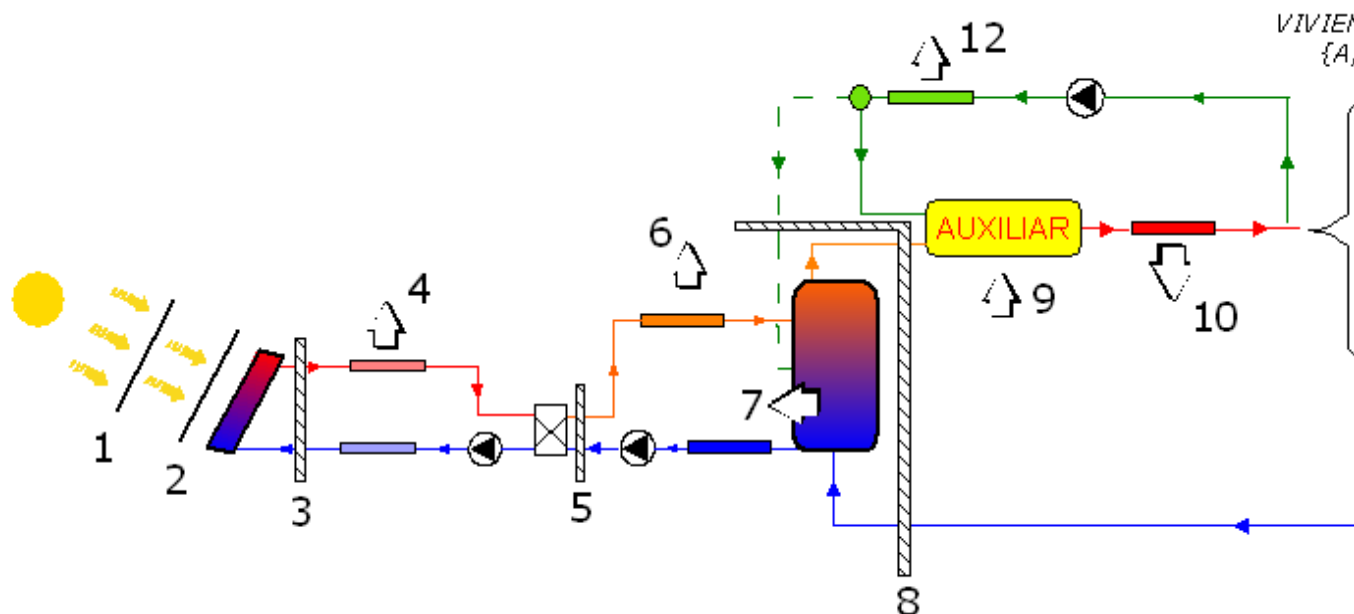
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 204.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

				auxiliar [kWh]			
AÑO	1835.23	1835.23	0.00	75860.5 ₇	40.75	17.86	22.89
Enero	144.42	144.42	0.00	10458.5 ₁	4.11	2.32	1.78
Febrero	131.76	131.76	0.00	8471.41	3.63	1.90	1.73
Marzo	155.27	155.27	0.00	7543.53	3.75	1.74	2.01
Abril	154.07	154.07	0.00	7896.62	3.73	1.81	1.92
Mayo	166.13	166.13	0.00	6608.61	3.51	1.56	1.95
Junio	162.81	162.81	0.00	5523.43	3.21	1.34	1.88
Julio	165.22	165.22	0.00	2907.17	2.79	0.81	1.98
Agosto	167.03	167.03	0.00	1186.00	2.45	0.46	1.99
Septiembre	156.18	156.18	0.00	2598.29	2.80	0.73	2.07
Octubre	153.46	153.46	0.00	4582.07	3.21	1.13	2.07
Noviembre	142.61	142.61	0.00	7654.82	3.59	1.75	1.84
Diciembre	136.28	136.28	0.00	10430.1 ₁	3.98	2.30	1.68

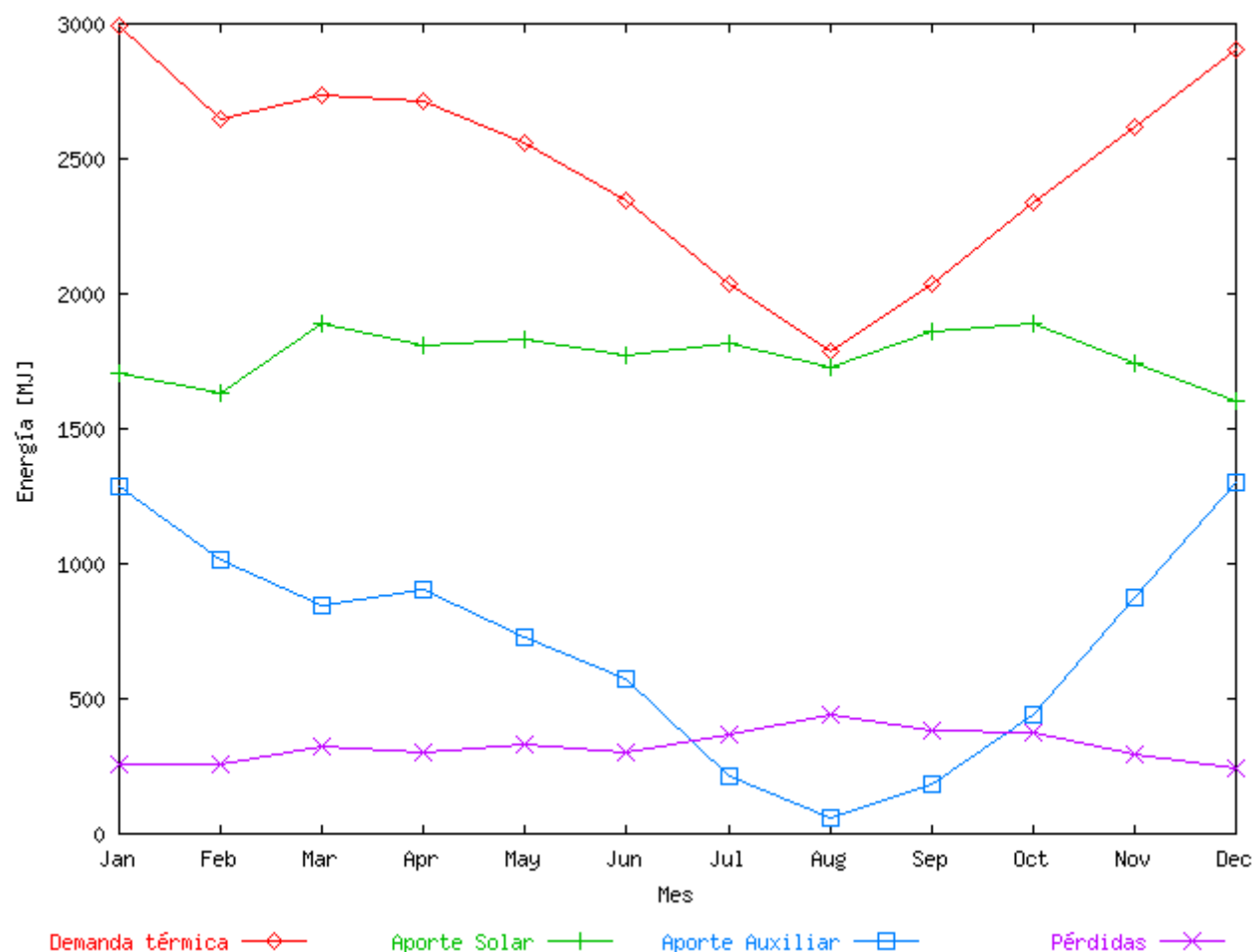
Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes

(fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	91861.82	63.37
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	53102.40	36.63
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	139835.65	97.22
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1598.55	1.11
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	276.07	0.19
	(7) Pérdidas del acumulador solar	2128.87	1.48
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	233930.21
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	225720.23
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	91861.82
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1598.55
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	89596.43
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	276.07
(7) Pérdidas del acumulador solar	2128.87
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	86755.25
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	53102.40

(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	75860.57
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	139835.65
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	139835.65
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	0.648
Enero	0.229
Febrero	0.318
Marzo	0.475
Abril	0.458
Mayo	0.716
Junio	0.854
Julio	1.199
Agosto	1.768
Septiembre	1.050
Octubre	0.784
Noviembre	0.346
Diciembre	0.236

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Residencia de estudiantes, captador tipo serpentín, 80 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 10:48:39

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	90.00	82.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	14088.00	0.00	0.00	0.00	14088.00
Febrero	12452.75	0.00	0.00	0.00	12452.75
Marzo	12875.17	0.00	0.00	0.00	12875.17
Abril	12786.32	0.00	0.00	0.00	12786.32
Mayo	12053.12	0.00	0.00	0.00	12053.12
Junio	11025.62	0.00	0.00	0.00	11025.62
Julio	9574.07	0.00	0.00	0.00	9574.07
Agosto	8404.64	0.00	0.00	0.00	8404.64
Septiembre	9602.86	0.00	0.00	0.00	9602.86
Octubre	11000.35	0.00	0.00	0.00	11000.35
Noviembre	12313.06	0.00	0.00	0.00	12313.06
Diciembre	13659.70	0.00	0.00	0.00	13659.70

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 115.80 [m²]

Conexionado de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.76 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 4.45 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.02 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 9264.00 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 1.89 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 57900.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 14.60 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.27 **La efectividad del intercambiador es MUY PEQUEÑA (**

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 9264.00 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 7999.46 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 1.89 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.87 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 70.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 90.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

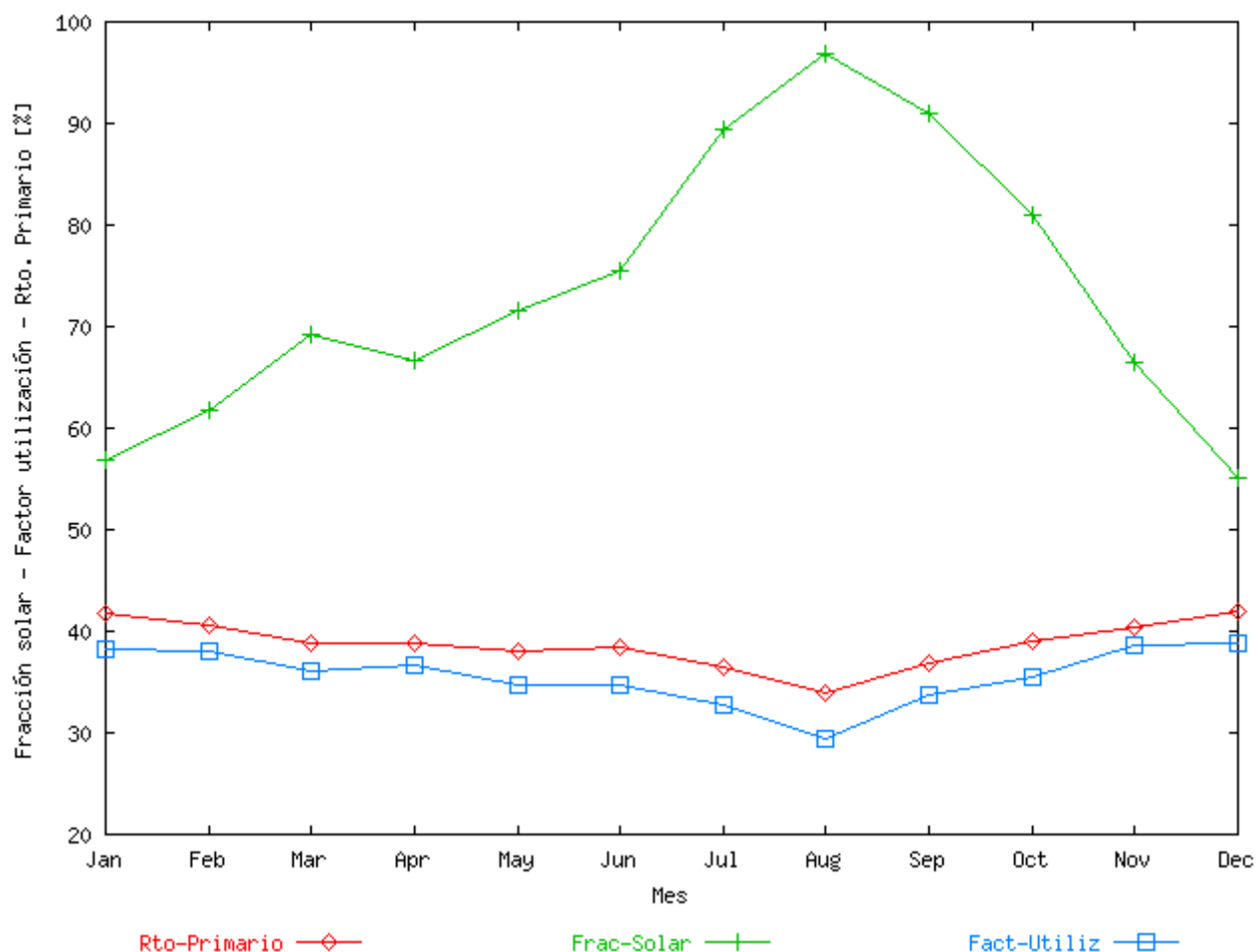
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol > 110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	66.78	42.75	41.37	3087.50	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	51.95	45.82	43.79	245.50	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	56.68	44.92	43.96	227.00	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	63.87	42.96	41.91	262.00	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	61.36	42.91	42.34	259.50	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	66.57	42.04	40.41	277.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	69.99	42.28	40.36	274.50	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	84.61	40.65	38.97	276.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	94.87	38.43	36.20	277.00	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	86.75	41.43	40.27	260.00	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	76.19	43.43	41.91	258.00	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	61.20	44.69	44.65	240.00	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	50.31	46.01	44.49	230.50	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3087.50



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

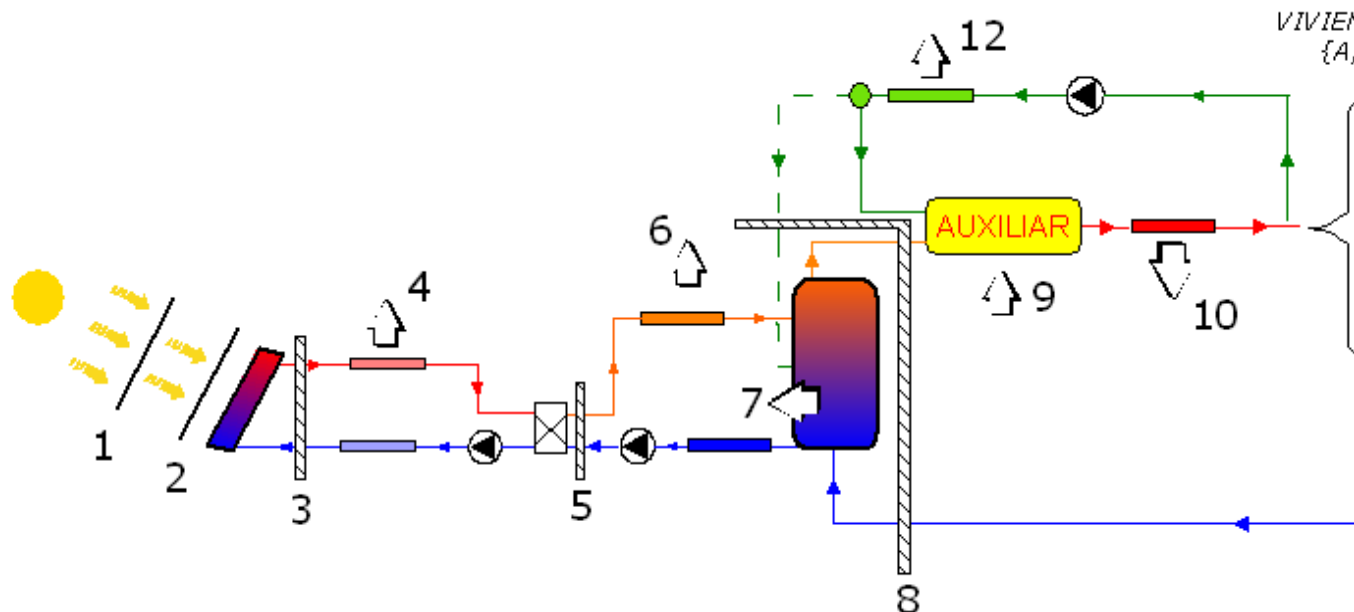
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 204.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

				auxiliar [kWh]			
AÑO	1861.76	1861.76	0.00	66394.3 1	40.75	15.96	24.79
Enero	148.04	148.04	0.00	9671.98	4.11	2.17	1.94
Febrero	136.88	136.88	0.00	7707.99	3.63	1.75	1.88
Marzo	157.99	157.99	0.00	6647.60	3.75	1.56	2.19
Abril	156.48	156.48	0.00	7059.98	3.73	1.64	2.08
Mayo	167.33	167.33	0.00	5758.38	3.51	1.39	2.12
Junio	165.52	165.52	0.00	4729.72	3.21	1.18	2.03
Julio	166.43	166.43	0.00	2108.38	2.79	0.65	2.14
Agosto	167.03	167.03	0.00	618.56	2.45	0.34	2.11
Septiembre	156.78	156.78	0.00	1820.59	2.80	0.57	2.22
Octubre	155.57	155.57	0.00	3745.17	3.21	0.97	2.24
Noviembre	144.72	144.72	0.00	6827.50	3.59	1.58	2.01
Diciembre	138.99	138.99	0.00	9698.46	3.98	2.16	1.82

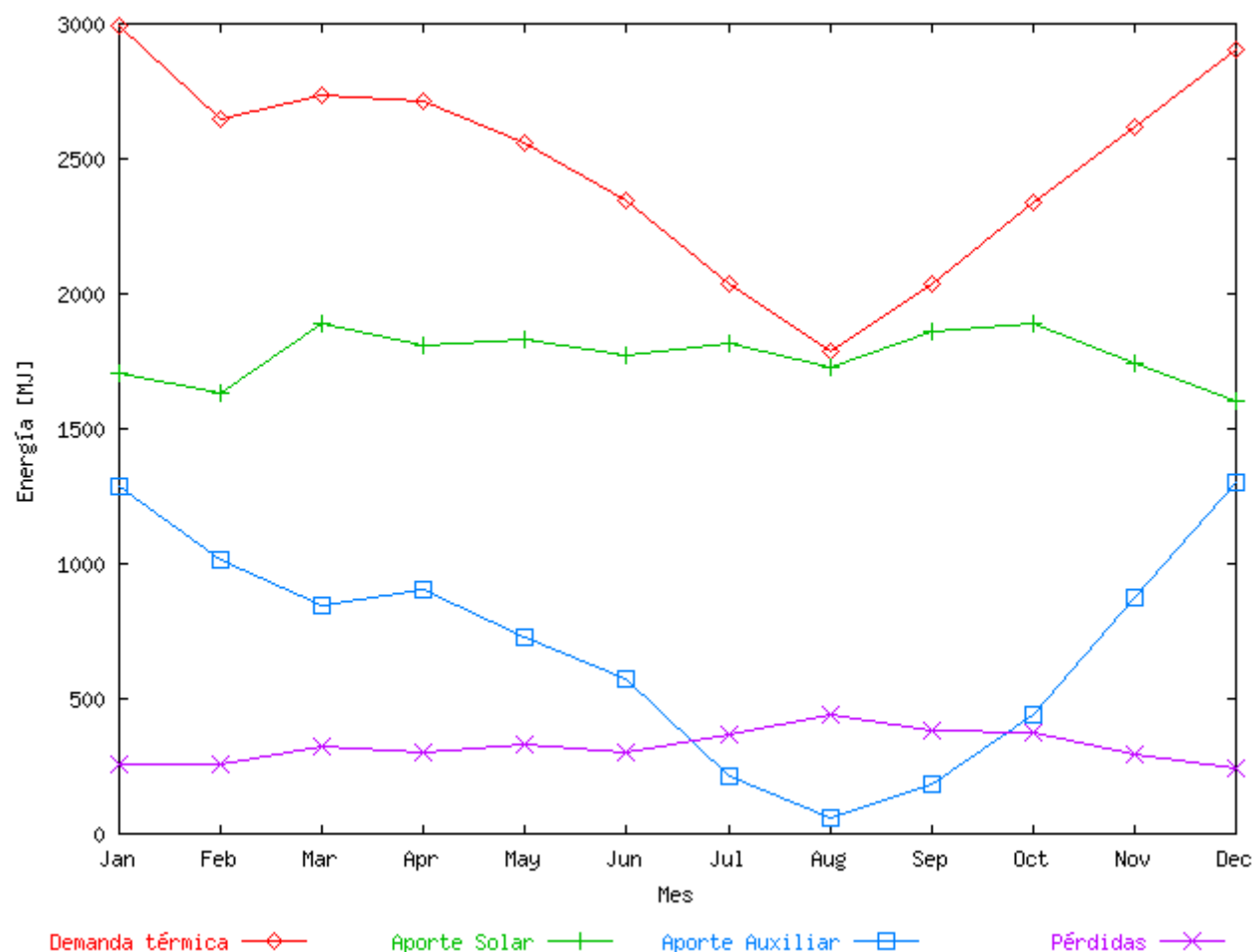
Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes

(fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	98998.48	68.05
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	46476.02	31.95
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	139835.65	96.94
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1774.10	1.23
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	304.72	0.21
	(7) Pérdidas del acumulador solar	2338.36	1.62
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	233930.21
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	225720.23
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	98998.48
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1774.10
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	96504.50
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	304.72
(7) Pérdidas del acumulador solar	2338.36
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	93381.37
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	46476.02

(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	66394.31
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	139835.65
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	139835.65
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	0.702
Enero	0.233
Febrero	0.336
Marzo	0.497
Abril	0.485
Mayo	0.735
Junio	0.925
Julio	1.401
Agosto	1.909
Septiembre	1.183
Octubre	0.835
Noviembre	0.348
Diciembre	0.270

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Residencia de estudiantes, captador tipo parrilla, 20 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 10:32:17

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	90.00	82.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	14068.58	0.00	0.00	0.00	14068.58
Febrero	12452.75	0.00	0.00	0.00	12452.75
Marzo	12875.17	0.00	0.00	0.00	12875.17
Abril	12786.32	0.00	0.00	0.00	12786.32
Mayo	12053.12	0.00	0.00	0.00	12053.12
Junio	11025.62	0.00	0.00	0.00	11025.62
Julio	9574.07	0.00	0.00	0.00	9574.07
Agosto	8404.64	0.00	0.00	0.00	8404.64
Septiembre	9602.86	0.00	0.00	0.00	9602.86
Octubre	11000.35	0.00	0.00	0.00	11000.35
Noviembre	12313.06	0.00	0.00	0.00	12313.06
Diciembre	13659.70	0.00	0.00	0.00	13659.70

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 115.80 [m²]

Conexión de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.74 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 6.21 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.00 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 2316.00 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 2.15 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 57900.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 18.40 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.54

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 2316.00 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 7999.46 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 2.15 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.87 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 70.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 90.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

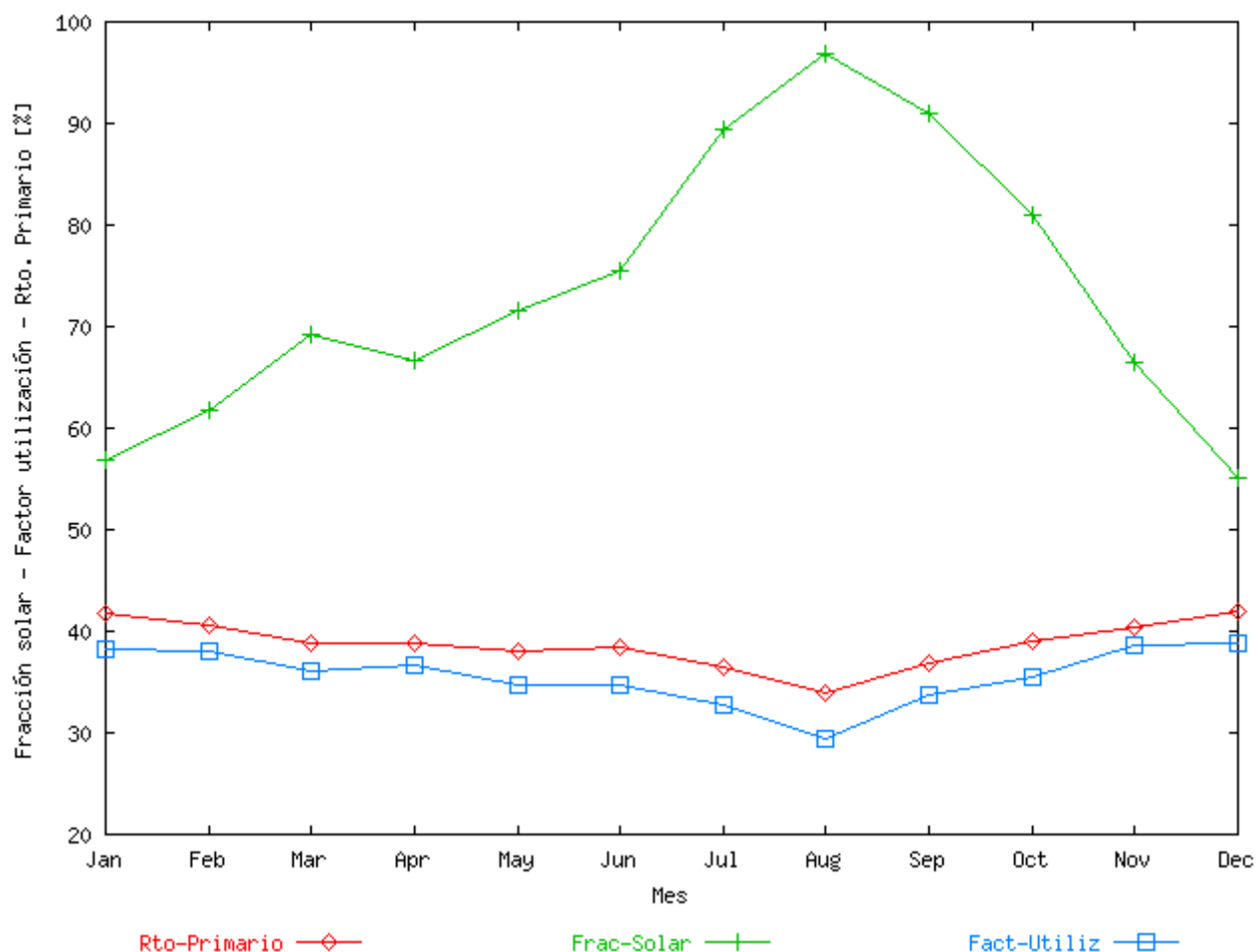
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol >110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	58.26	36.97	36.08	3126.00	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	44.70	39.14	37.63	247.00	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	48.81	38.47	37.86	227.50	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	55.16	36.87	36.20	268.50	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	53.26	37.03	36.75	265.00	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	57.87	36.26	35.13	281.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	61.07	36.57	35.21	273.50	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	74.34	35.30	34.24	277.50	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	86.41	34.29	32.97	277.50	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	76.78	36.36	35.64	266.50	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	66.54	37.56	36.60	263.00	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	52.57	38.19	38.35	243.00	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	43.34	39.36	38.32	235.50	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3126.00



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

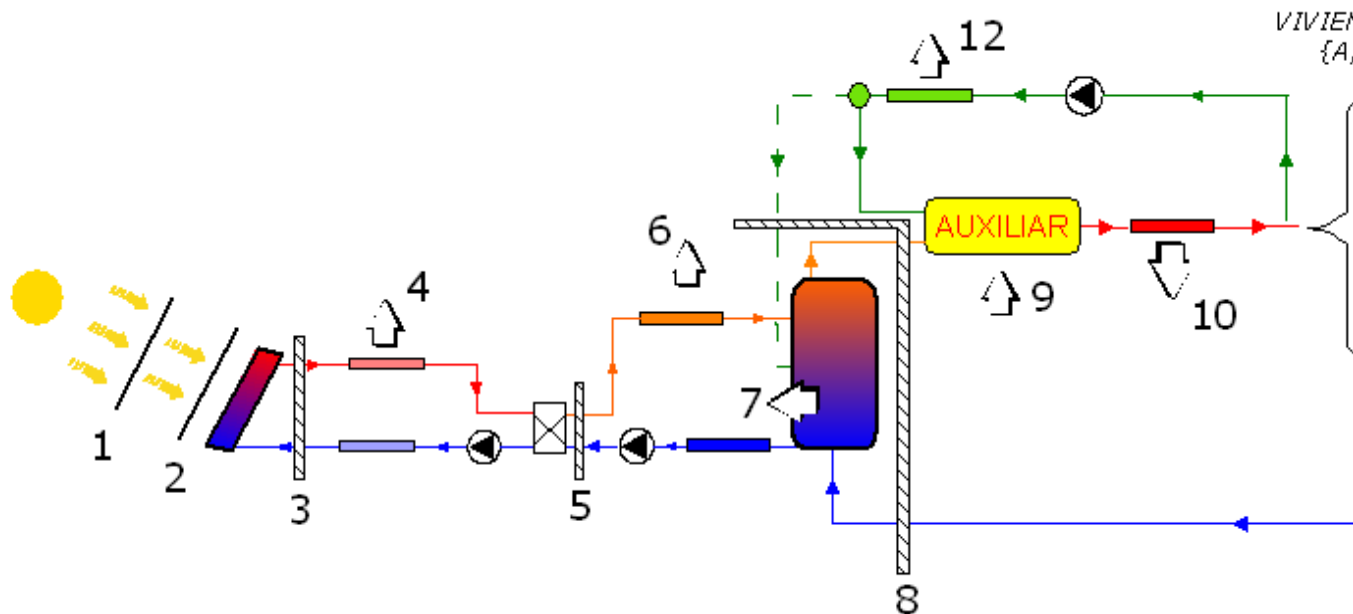
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 204.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

				auxiliar [kWh]			
AÑO	198.28	198.28	0.00	83404.0 ₈	40.75	17.27	23.47
Enero	15.67	15.67	0.00	11115.3 ₈	4.10	2.29	1.81
Febrero	14.43	14.43	0.00	9107.99	3.63	1.88	1.75
Marzo	17.03	17.03	0.00	8250.23	3.75	1.71	2.05
Abril	16.81	16.81	0.00	8540.47	3.73	1.76	1.96
Mayo	17.86	17.86	0.00	7257.00	3.51	1.50	2.01
Junio	17.35	17.35	0.00	6134.86	3.21	1.27	1.94
Julio	17.60	17.60	0.00	3512.61	2.79	0.74	2.05
Agosto	17.60	17.60	0.00	1634.00	2.45	0.36	2.09
Septiembre	16.90	16.90	0.00	3187.98	2.80	0.67	2.13
Octubre	16.68	16.68	0.00	5260.61	3.21	1.09	2.11
Noviembre	15.41	15.41	0.00	8344.82	3.59	1.72	1.87
Diciembre	14.94	14.94	0.00	11058.1 ₃	3.98	2.28	1.71

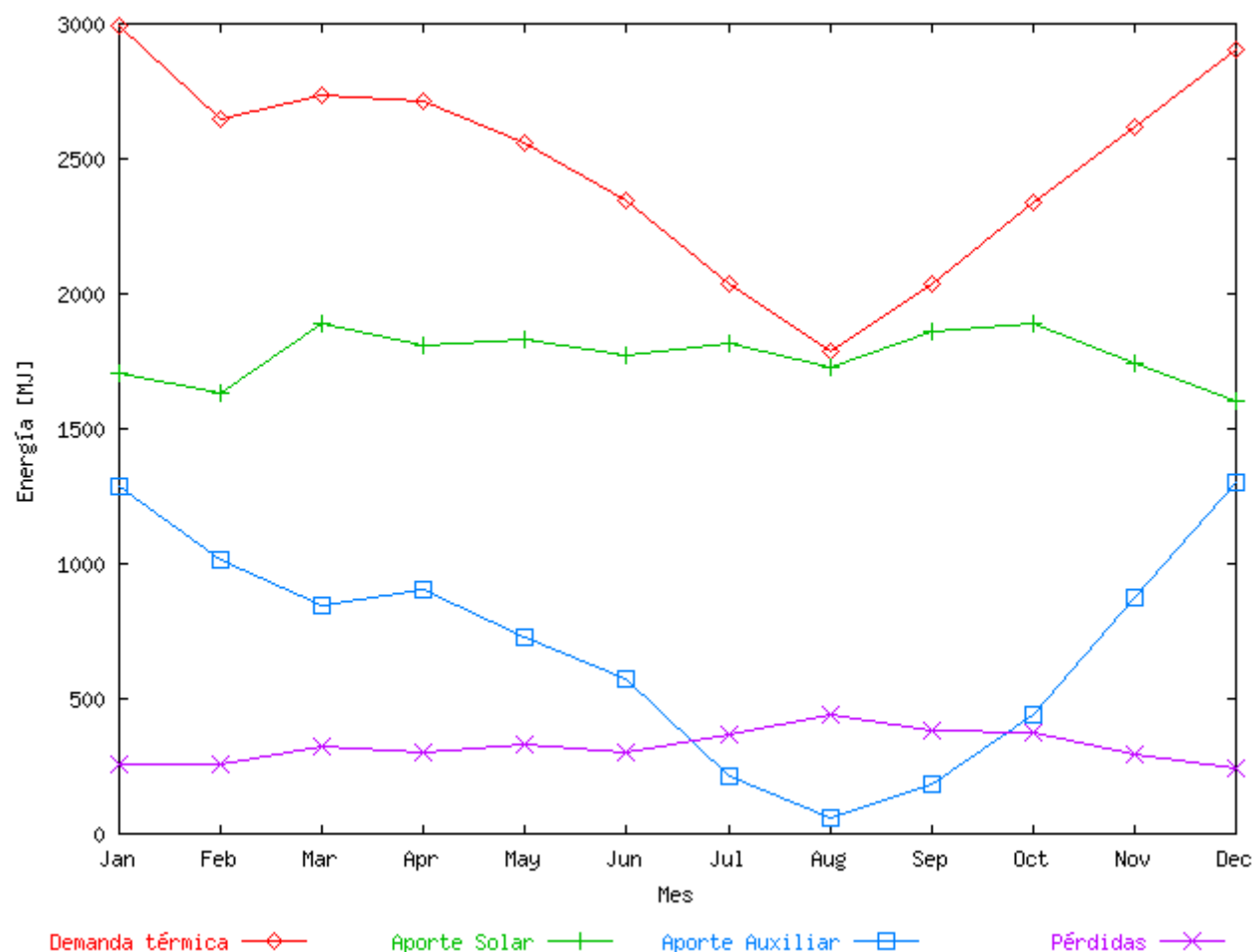
Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes

(fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	84908.31	59.26
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	58382.86	40.74
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	139816.23	97.66
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1225.32	0.86
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	202.24	0.14
	(7) Pérdidas del acumulador solar	1918.11	1.34
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	233930.21
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	225720.23
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	84908.31
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1225.32
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	83457.64
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	202.24
(7) Pérdidas del acumulador solar	1918.11
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	81450.69
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	58382.86

(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	83404.08
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	139816.23
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	139816.23
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	0.031
Enero	0.117
Febrero	0.102
Marzo	0.052
Abril	0.049
Mayo	0.023
Junio	0.015
Julio	0.071
Agosto	0.177
Septiembre	0.070
Octubre	0.020
Noviembre	0.074
Diciembre	0.106

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Residencia de estudiantes, captador tipo serpentín, 20 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 10:45:14

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	90.00	82.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	14088.00	0.00	0.00	0.00	14088.00
Febrero	12452.75	0.00	0.00	0.00	12452.75
Marzo	12875.17	0.00	0.00	0.00	12875.17
Abril	12786.32	0.00	0.00	0.00	12786.32
Mayo	12053.12	0.00	0.00	0.00	12053.12
Junio	11025.62	0.00	0.00	0.00	11025.62
Julio	9574.07	0.00	0.00	0.00	9574.07
Agosto	8404.64	0.00	0.00	0.00	8404.64
Septiembre	9602.86	0.00	0.00	0.00	9602.86
Octubre	11000.35	0.00	0.00	0.00	11000.35
Noviembre	12313.06	0.00	0.00	0.00	12313.06
Diciembre	13659.70	0.00	0.00	0.00	13659.70

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 115.80 [m²]

Conexión de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.75 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 4.33 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.03 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 2316.00 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 2.15 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 57900.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 18.40 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.54

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 2316.00 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 7999.46 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 2.15 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.87 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 70.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 90.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

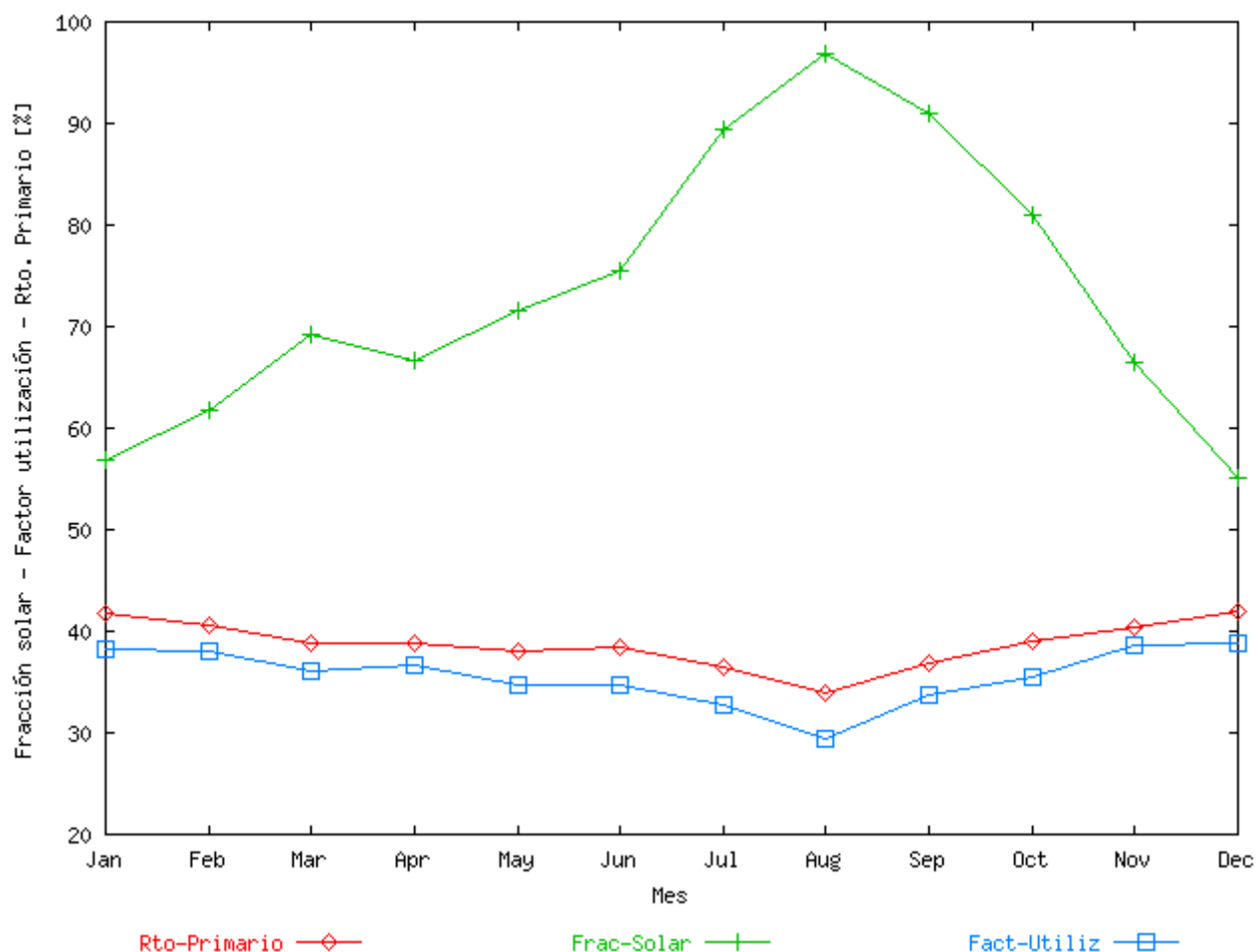
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol >110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	62.83	39.90	38.93	3212.00	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	48.44	42.49	40.83	256.00	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	52.89	41.72	41.02	237.00	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	59.67	39.89	39.16	275.00	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	57.62	40.08	39.76	273.00	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	62.68	39.27	38.05	289.00	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	66.25	39.66	38.21	283.00	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	80.34	38.15	37.00	281.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	91.69	36.48	34.98	279.00	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	82.16	38.91	38.14	275.50	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	71.42	40.31	39.29	271.50	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	56.65	41.21	41.32	253.50	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	47.04	42.74	41.60	238.50	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3212.00



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

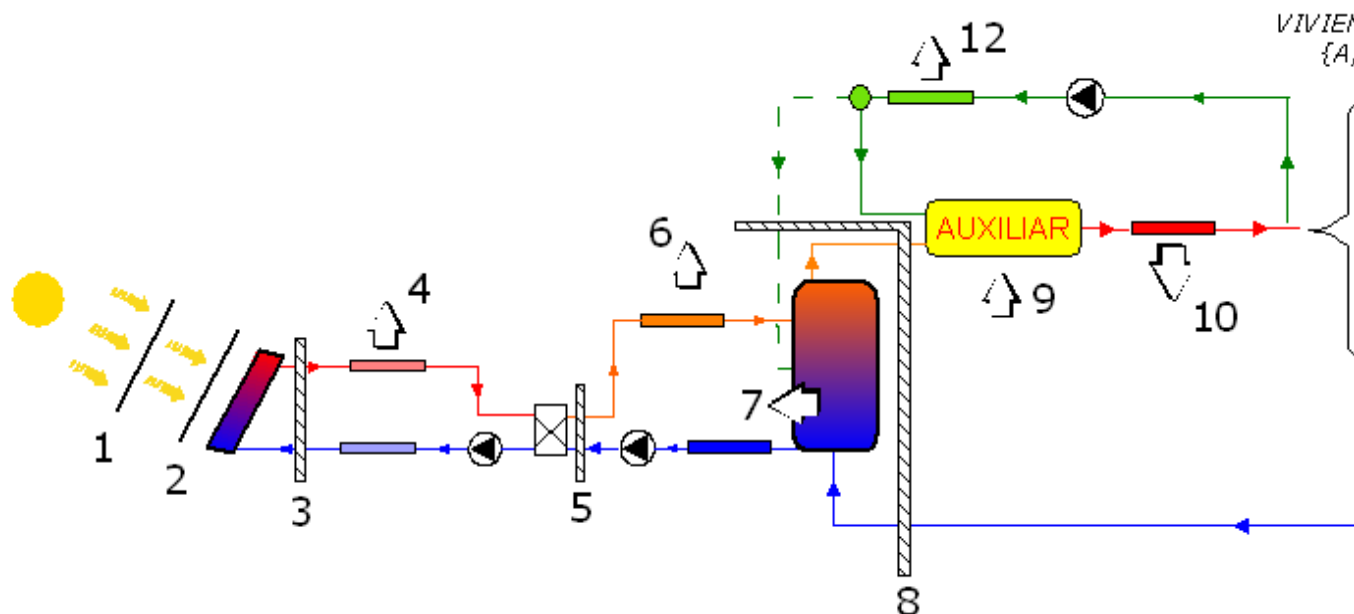
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 204.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

				auxiliar [kWh]			
AÑO	203.71	203.71	0.00	74268.8 ₁	40.75	15.42	25.34
Enero	16.24	16.24	0.00	10378.4 ₉	4.11	2.14	1.97
Febrero	15.03	15.03	0.00	8382.01	3.63	1.73	1.90
Marzo	17.44	17.44	0.00	7420.30	3.75	1.54	2.22
Abril	17.31	17.31	0.00	7743.69	3.73	1.60	2.12
Mayo	18.33	18.33	0.00	6428.41	3.51	1.34	2.18
Junio	17.95	17.95	0.00	5317.73	3.21	1.11	2.11
Julio	17.82	17.82	0.00	2691.71	2.79	0.57	2.22
Agosto	17.69	17.69	0.00	999.66	2.45	0.23	2.22
Septiembre	17.47	17.47	0.00	2449.98	2.80	0.52	2.28
Octubre	17.22	17.22	0.00	4493.72	3.21	0.94	2.27
Noviembre	16.08	16.08	0.00	7627.75	3.59	1.58	2.01
Diciembre	15.13	15.13	0.00	10335.3 ₅	3.98	2.13	1.85

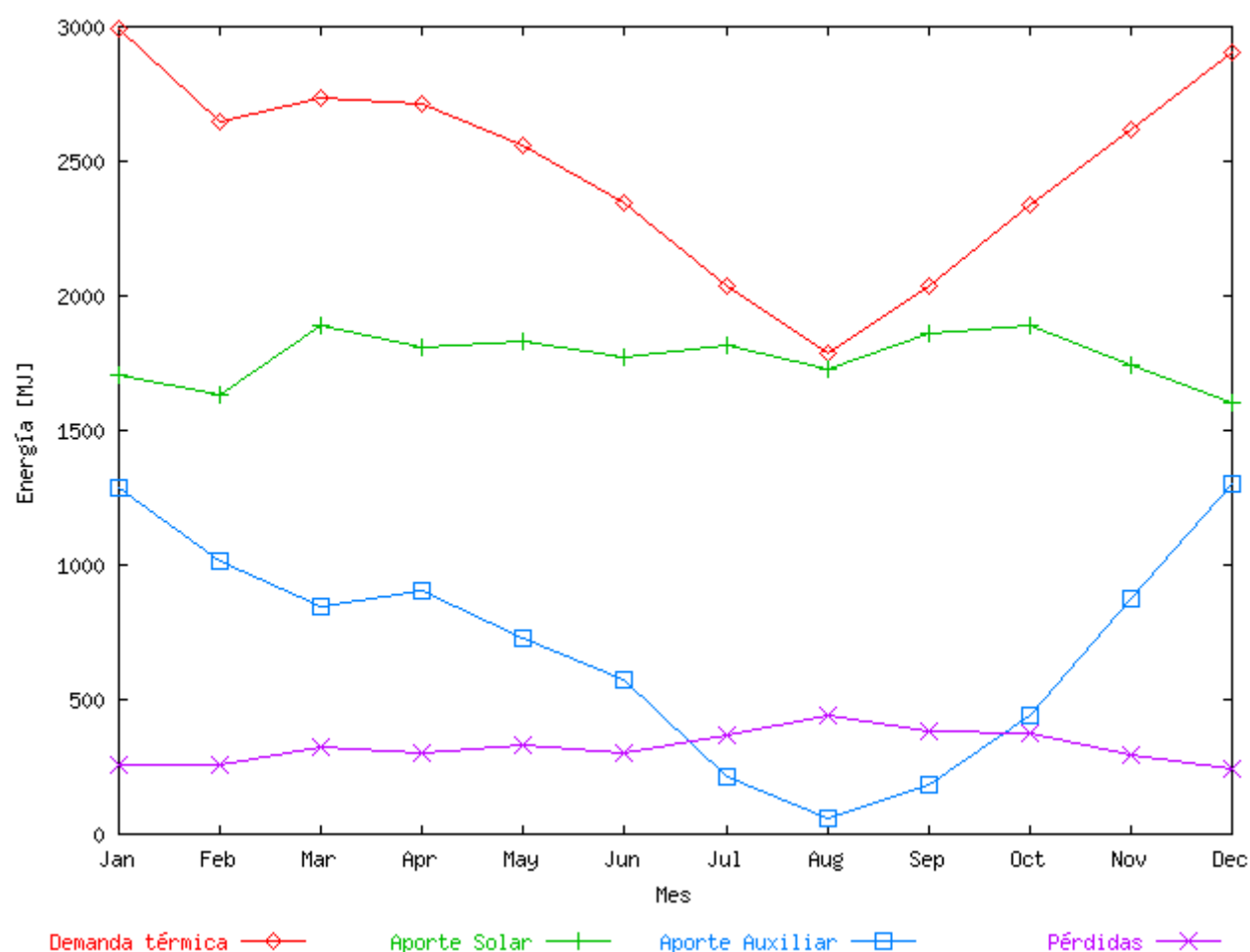
Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes

(fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	91679.63	63.81
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	51988.17	36.19
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	139835.65	97.43
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1367.65	0.95
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	225.22	0.16
	(7) Pérdidas del acumulador solar	2097.13	1.46
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	233930.21
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	225720.23
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	91679.63
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1367.65
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	90069.17
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	225.22
(7) Pérdidas del acumulador solar	2097.13
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	87865.30
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	51988.17

(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	74268.81
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	139835.65
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	139835.65
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	0.030
Enero	0.122
Febrero	0.099
Marzo	0.067
Abril	0.047
Mayo	0.015
Junio	0.018
Julio	0.071
Agosto	0.215
Septiembre	0.073
Octubre	0.012
Noviembre	0.084
Diciembre	0.114

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Edificio de viviendas, captador tipo parrilla, 80 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 11:22:18

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	14.00	112.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	2993.22	0.00	0.00	0.00	2993.22
Febrero	2645.79	0.00	0.00	0.00	2645.79
Marzo	2735.54	0.00	0.00	0.00	2735.54
Abril	2716.66	0.00	0.00	0.00	2716.66
Mayo	2560.88	0.00	0.00	0.00	2560.88
Junio	2342.57	0.00	0.00	0.00	2342.57
Julio	2034.16	0.00	0.00	0.00	2034.16
Agosto	1785.70	0.00	0.00	0.00	1785.70
Septiembre	2040.28	0.00	0.00	0.00	2040.28
Octubre	2337.20	0.00	0.00	0.00	2337.20
Noviembre	2616.11	0.00	0.00	0.00	2616.11
Diciembre	2902.22	0.00	0.00	0.00	2902.22

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 30.88 [m²]

Conexionado de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.74 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 5.24 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.01 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 2559.64 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 2.15 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 15440.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 14.80 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.26 **La efectividad del intercambiador es MUY PEQUEÑA (**

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 2559.64 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 1999.79 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 2.15 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.93 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 100.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 14.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

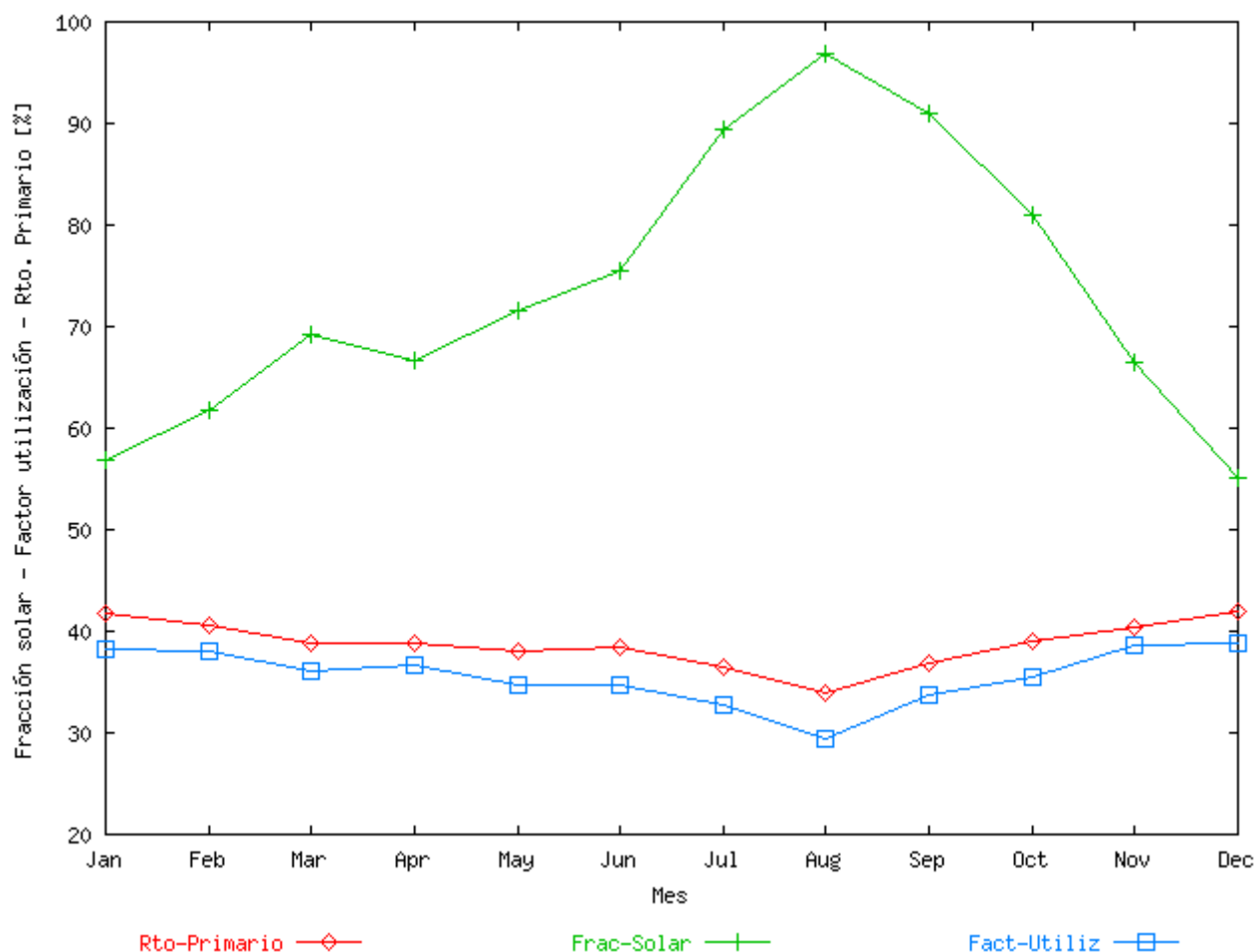
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol >110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	66.74	35.84	32.94	2973.00	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	52.57	38.61	35.30	234.50	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	57.01	37.53	35.23	214.00	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	63.94	35.88	33.43	251.00	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	61.63	35.95	33.89	251.00	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	66.26	35.22	32.04	269.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	70.04	35.55	32.18	267.00	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	83.80	34.02	30.75	266.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	93.32	32.22	28.37	268.50	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	85.88	34.69	31.77	253.00	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	75.69	36.37	33.17	249.50	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	61.30	37.29	35.63	231.00	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	51.31	39.01	36.15	218.00	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 2973.00



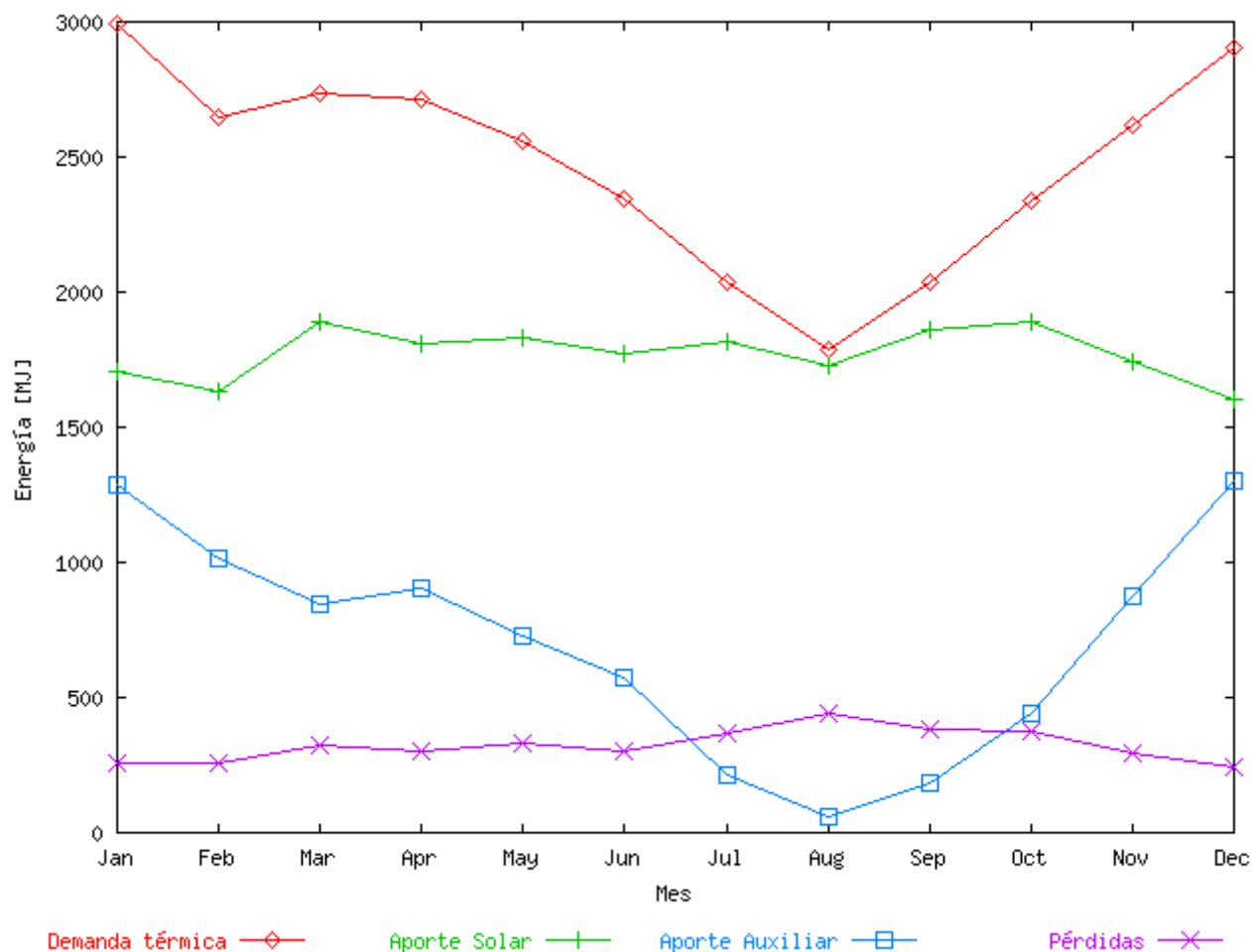
Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 649.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	23711.78	70.57
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	9887.47	29.43
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	29710.34	89.47
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1961.07	5.91
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	522.00	1.57
	(7) Pérdidas del acumulador solar	1012.65	3.05
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	62381.39
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	60192.06
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	23711.78
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1961.07
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	21575.56
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	522.00
(7) Pérdidas del acumulador solar	1012.65
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	19827.69
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	9887.47
(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	9887.47
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	29710.34
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	29710.34
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	1.009
Enero	0.457
Febrero	0.578
Marzo	0.812
Abril	0.807

Mayo	1.052
Junio	1.206
Julio	1.827
Agosto	2.149
Septiembre	1.638
Octubre	1.170
Noviembre	0.610
Diciembre	0.460

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Edificio de viviendas, captador tipo serpentín, 80 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 11:24:51

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	14.00	112.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	2993.22	0.00	0.00	0.00	2993.22
Febrero	2645.79	0.00	0.00	0.00	2645.79
Marzo	2735.54	0.00	0.00	0.00	2735.54
Abril	2716.66	0.00	0.00	0.00	2716.66
Mayo	2560.88	0.00	0.00	0.00	2560.88
Junio	2342.57	0.00	0.00	0.00	2342.57
Julio	2034.16	0.00	0.00	0.00	2034.16
Agosto	1785.70	0.00	0.00	0.00	1785.70
Septiembre	2040.28	0.00	0.00	0.00	2040.28
Octubre	2337.20	0.00	0.00	0.00	2337.20
Noviembre	2616.11	0.00	0.00	0.00	2616.11
Diciembre	2902.22	0.00	0.00	0.00	2902.22

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 30.88 [m²]

Conexionado de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.76 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 4.45 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.02 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 2559.64 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 2.15 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 15440.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 14.80 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.26 **La efectividad del intercambiador es MUY PEQUEÑA (**

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 2559.64 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 1999.79 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 2.15 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.93 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 100.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 14.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

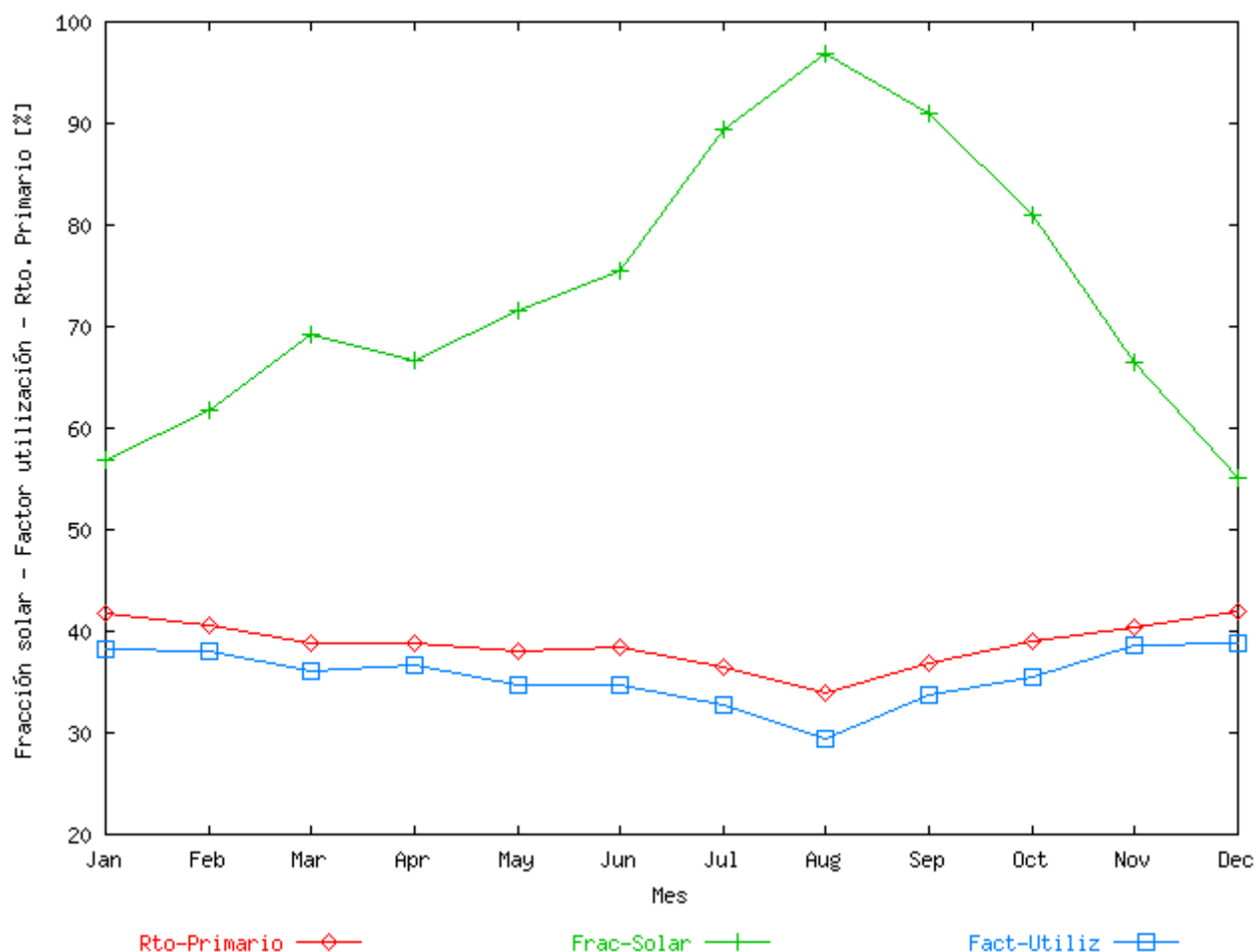
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol > 110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	71.63	38.55	35.36	3013.50	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	56.94	41.85	38.23	239.00	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	61.71	40.66	38.13	216.50	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	69.18	38.86	36.17	255.50	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	66.66	38.89	36.65	254.00	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	71.62	38.06	34.64	274.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	75.53	38.35	34.70	269.50	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	89.44	36.43	32.82	271.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	96.86	33.85	29.44	267.50	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	91.01	36.86	33.66	253.50	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	80.99	39.08	35.50	253.00	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	66.48	40.41	38.64	235.00	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	55.17	41.98	38.87	224.50	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3013.50



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

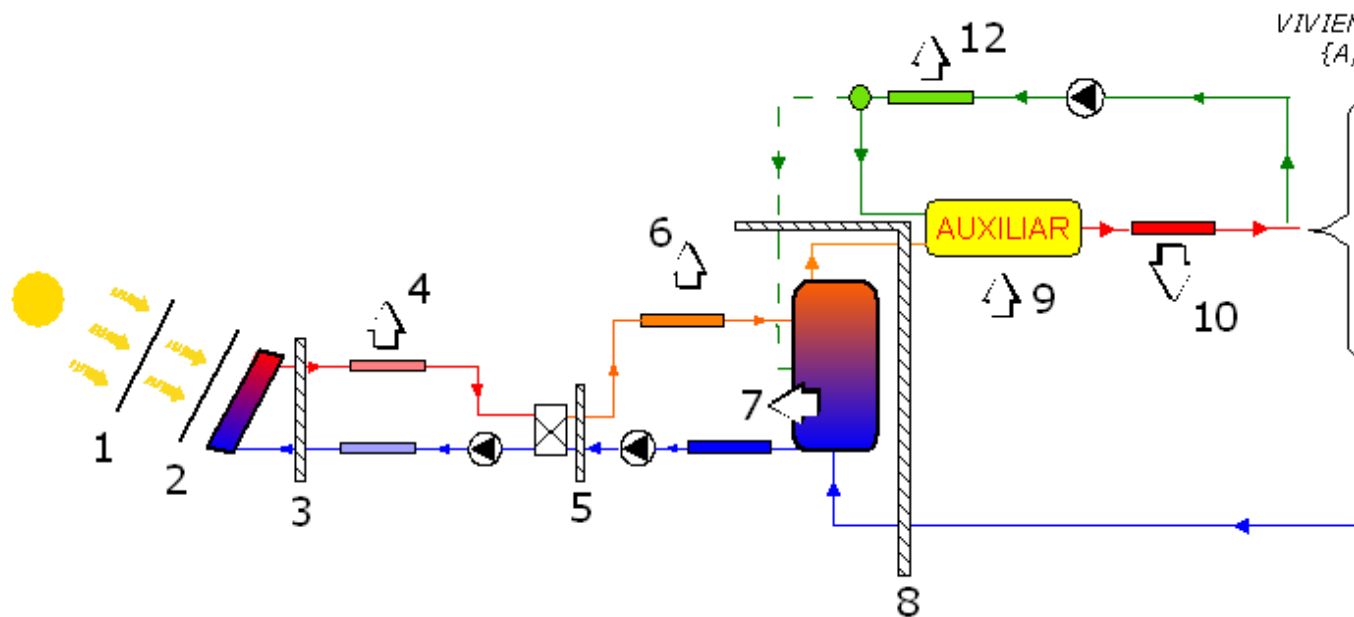
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 649.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

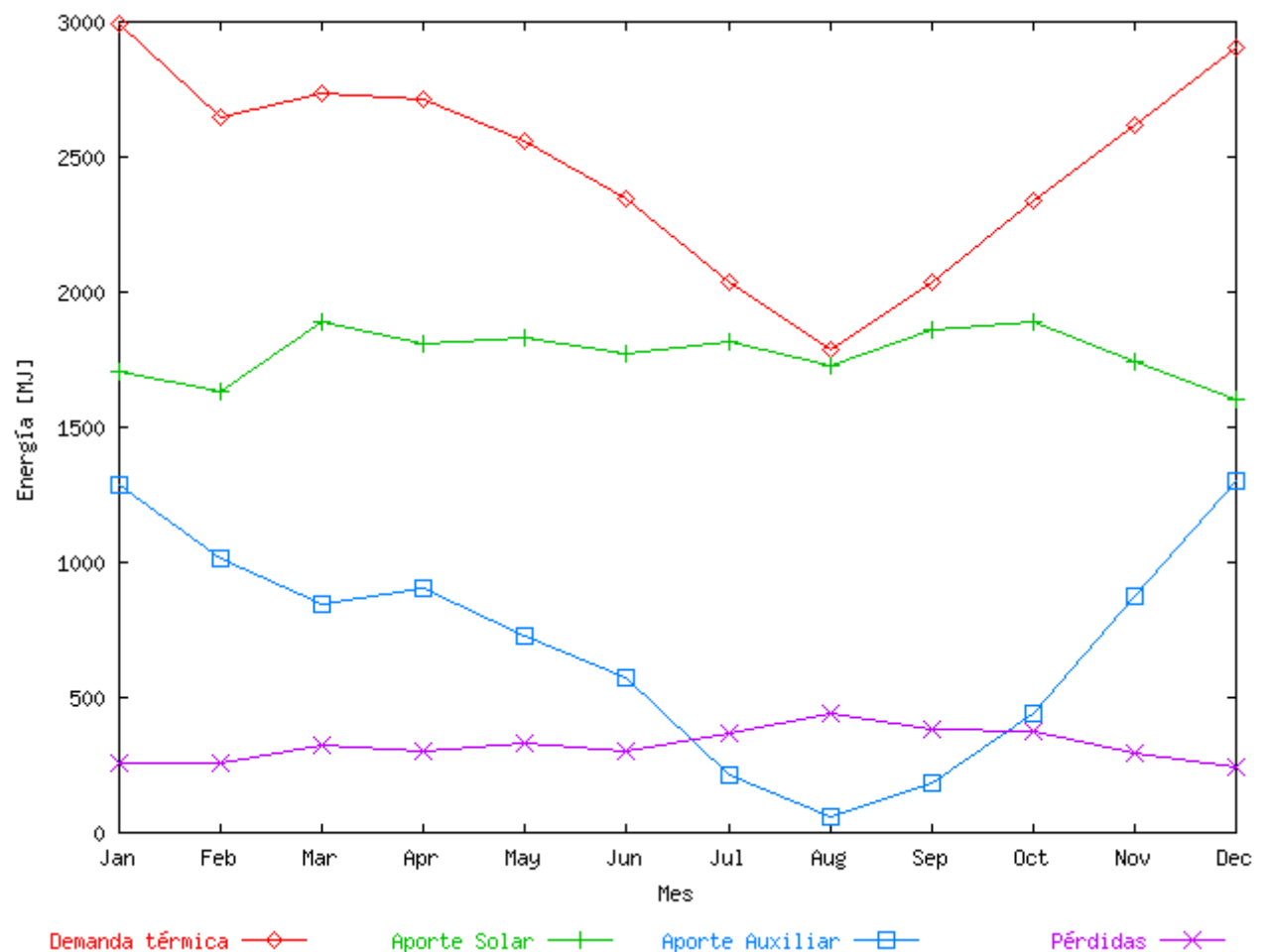
				auxiliar [kWh]			
AÑO	171.56	171.56	0.00	8432.51	19.28	5.70	13.59
Enero	13.61	13.61	0.00	1289.34	1.94	0.85	1.09
Febrero	12.33	12.33	0.00	1013.43	1.72	0.67	1.04
Marzo	14.55	14.55	0.00	843.46	1.78	0.57	1.21
Abril	14.46	14.46	0.00	906.28	1.76	0.61	1.16
Mayo	15.63	15.63	0.00	727.33	1.66	0.49	1.17
Junio	15.34	15.34	0.00	573.80	1.52	0.39	1.13
Julio	15.43	15.43	0.00	215.24	1.32	0.16	1.16
Agosto	15.23	15.23	0.00	56.52	1.16	0.06	1.10
Septiembre	14.43	14.43	0.00	183.87	1.32	0.14	1.19
Octubre	14.40	14.40	0.00	444.76	1.52	0.31	1.21
Noviembre	13.38	13.38	0.00	877.22	1.70	0.59	1.11
Diciembre	12.78	12.78	0.00	1301.26	1.88	0.86	1.02

Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes (fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	25570.90	75.20
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	8432.51	24.80
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	29710.34	88.46
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	2181.67	6.50
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	577.99	1.72
	(7) Pérdidas del acumulador solar	1114.36	3.32
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	62381.39
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	60192.06
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	25570.90
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	2181.67
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	23204.27
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	577.99
(7) Pérdidas del acumulador solar	1114.36
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	21282.86
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	8432.51
(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	8432.51
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	29710.34
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	29710.34
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	1.066
Enero	0.466
Febrero	0.606
Marzo	0.857
Abril	0.810

Mayo	1.108
Junio	1.285
Julio	1.912
Agosto	2.248
Septiembre	1.770
Octubre	1.241
Noviembre	0.664
Diciembre	0.483

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Edificio de viviendas, captador tipo parrilla, 20 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 11:15:25

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	14.00	112.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	2989.10	0.00	0.00	0.00	2989.10
Febrero	2645.79	0.00	0.00	0.00	2645.79
Marzo	2735.54	0.00	0.00	0.00	2735.54
Abril	2716.66	0.00	0.00	0.00	2716.66
Mayo	2560.88	0.00	0.00	0.00	2560.88
Junio	2342.57	0.00	0.00	0.00	2342.57
Julio	2034.16	0.00	0.00	0.00	2034.16
Agosto	1785.70	0.00	0.00	0.00	1785.70
Septiembre	2040.28	0.00	0.00	0.00	2040.28
Octubre	2337.20	0.00	0.00	0.00	2337.20
Noviembre	2616.11	0.00	0.00	0.00	2616.11
Diciembre	2902.22	0.00	0.00	0.00	2902.22

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 30.88 [m²]

Conexión de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.74 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 6.21 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.00 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 639.83 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 2.50 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 15440.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 19.20 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.52

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 639.83 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 1999.79 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 2.50 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.93 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 100.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 14.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

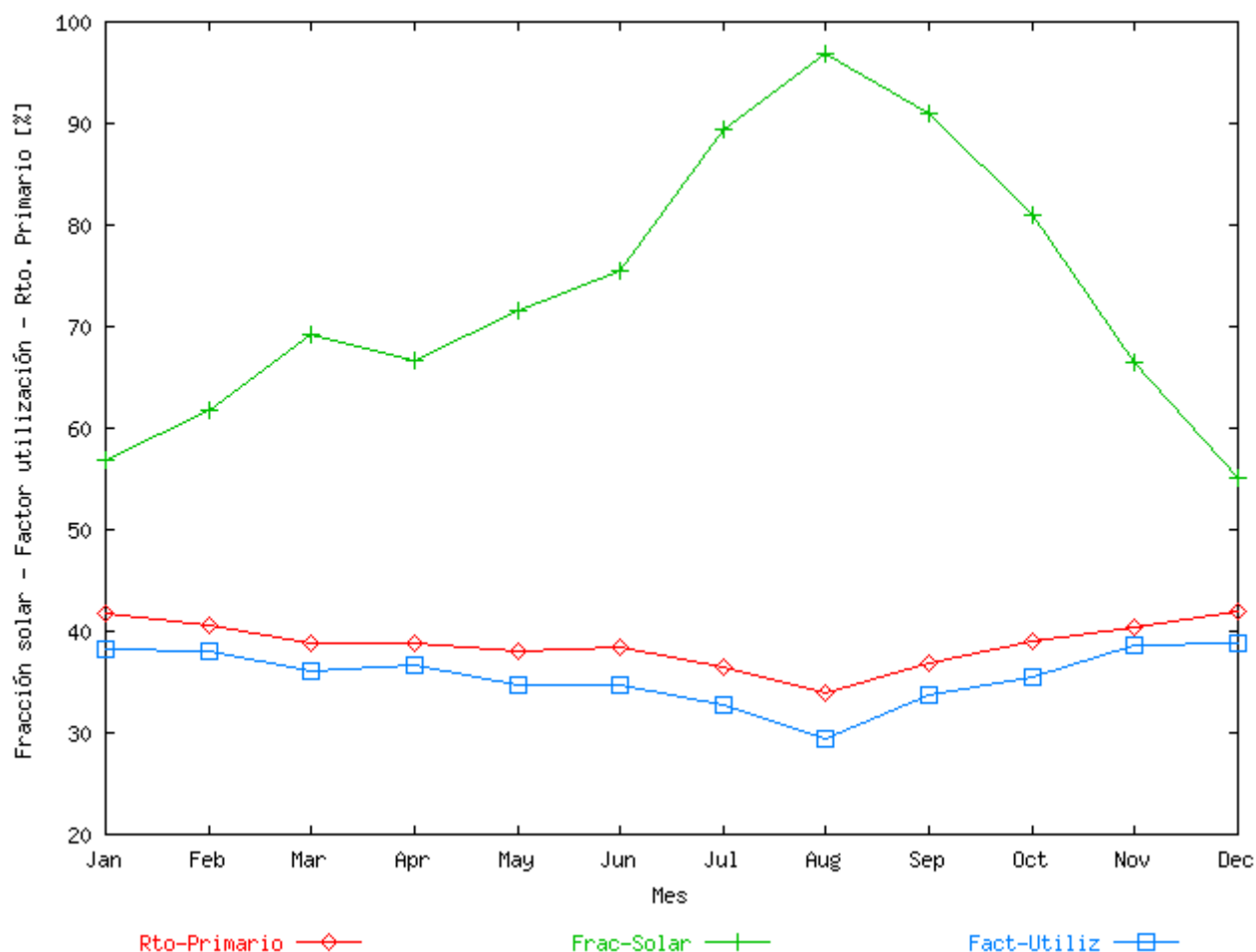
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol >110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	63.45	33.53	31.31	3041.50	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	49.46	35.88	33.17	243.50	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	53.90	35.11	33.31	219.00	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	60.44	33.45	31.60	255.50	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	58.38	33.59	32.10	256.50	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	62.97	32.94	30.45	276.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	66.52	33.19	30.56	271.50	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	80.09	31.83	29.39	271.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	90.89	30.52	27.63	271.50	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	82.62	32.71	30.56	258.50	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	72.17	34.09	31.63	253.50	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	57.91	34.78	33.66	234.50	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	48.01	36.08	33.82	230.00	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3041.50



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

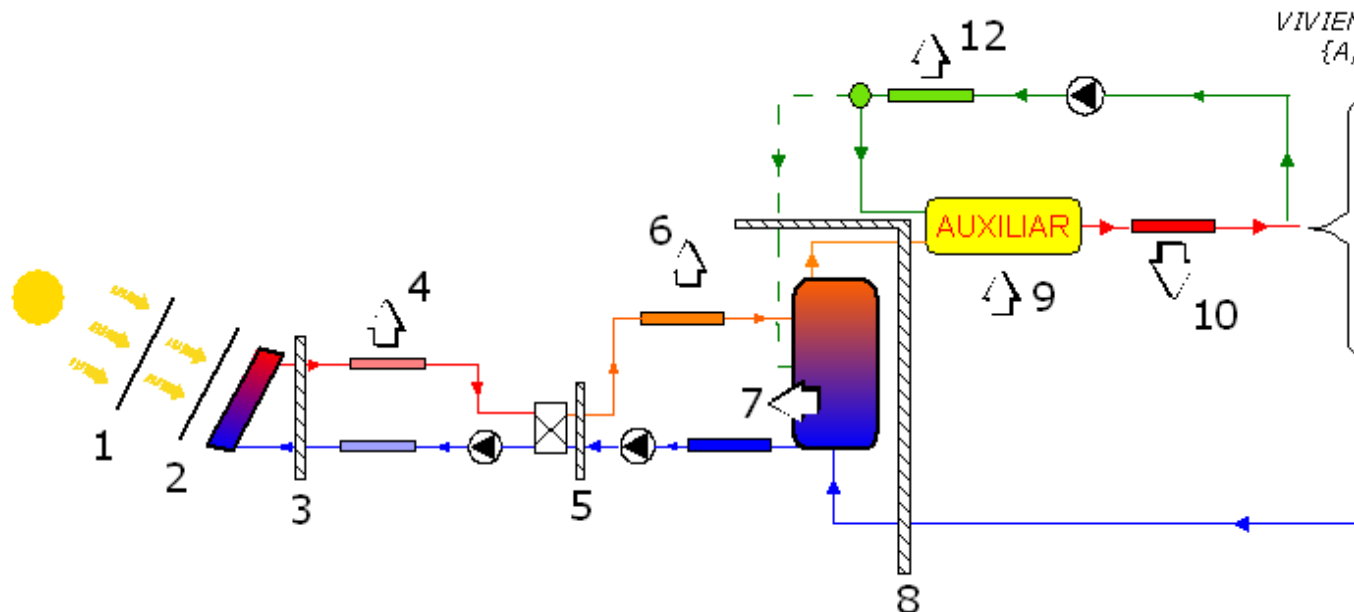
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 649.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

				auxiliar [kWh]			
AÑO	57.79	57.79	0.00	10862.60	19.28	7.12	12.15
Enero	4.63	4.63	0.00	1511.09	1.94	0.99	0.95
Febrero	4.16	4.16	0.00	1220.02	1.72	0.80	0.92
Marzo	4.85	4.85	0.00	1082.57	1.78	0.71	1.07
Abril	4.87	4.87	0.00	1130.99	1.76	0.74	1.02
Mayo	5.25	5.25	0.00	948.75	1.66	0.62	1.04
Junio	5.16	5.16	0.00	784.66	1.52	0.52	1.00
Julio	5.15	5.15	0.00	405.28	1.32	0.27	1.05
Agosto	5.16	5.16	0.00	162.94	1.16	0.11	1.05
Septiembre	4.91	4.91	0.00	354.94	1.32	0.24	1.09
Octubre	4.82	4.82	0.00	650.71	1.52	0.43	1.09
Noviembre	4.46	4.46	0.00	1101.46	1.70	0.72	0.98
Diciembre	4.37	4.37	0.00	1509.18	1.88	0.99	0.90

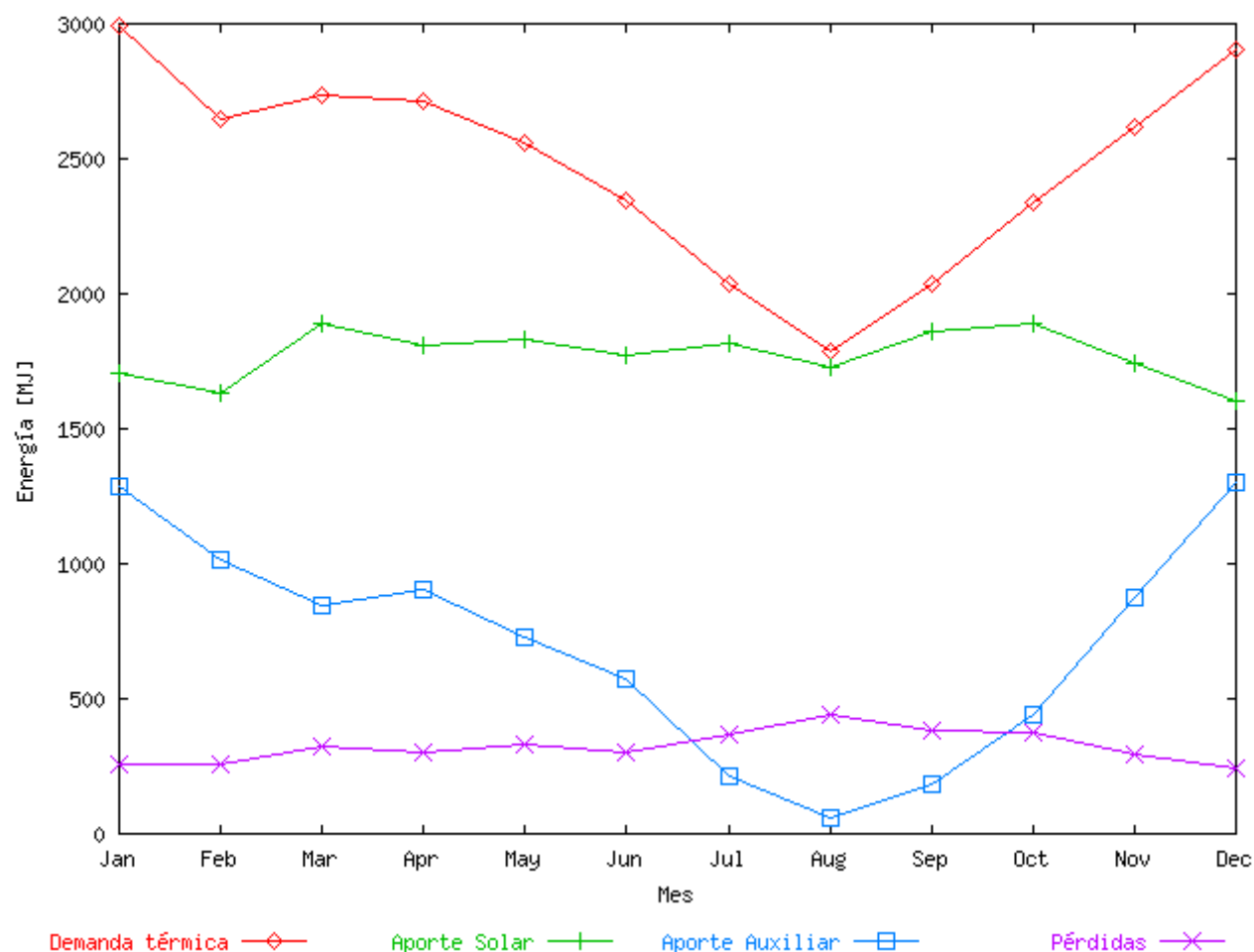
Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes

(fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	21808.60	66.75
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	10862.60	33.25
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	29706.21	91.13
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1564.35	4.80
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	395.59	1.21
	(7) Pérdidas del acumulador solar	930.45	2.85
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	62381.39
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	60192.06
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	21808.60
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1564.35
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	20180.01
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	395.59
(7) Pérdidas del acumulador solar	930.45
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	18847.29
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	10862.60

(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	10862.60
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	29706.21
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	29706.21
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	0.074
Enero	0.025
Febrero	0.011
Marzo	0.028
Abril	0.033
Mayo	0.074
Junio	0.112
Julio	0.201
Agosto	0.298
Septiembre	0.185
Octubre	0.109
Noviembre	0.038
Diciembre	0.024

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)

Resultados de simulaciones en AcSol. Edificio de viviendas, captador tipo serpentín, 20 l/(hm²)



ACSOL 2.5

Configuración: todo centralizado

Informe de resultados

Generado el día 05/03/2019 a las 11:18:12

- CONDICIONES AMBIENTALES

Localidad: AMT-Málaga

Latitud: 36.67 [°]

Fichero meteorológico utilizado en la simulación: ..\weather\AMT-Malaga.met

Resumen clima:

Mes	Horas de sol [h]	Radiación horizontal[MJ/m ² ·dia]	Temperatura media ambiente [°C]	Temperatura media de red [°C]
AÑO	3501.00	17.43	17.98	15.52
Enero	242.00	9.35	12.15	12.00
Febrero	200.00	12.03	12.81	12.00
Marzo	281.00	16.08	14.00	13.00
Abril	272.00	19.33	15.76	14.00
Mayo	359.00	23.93	18.70	16.00
Junio	367.00	25.85	22.13	18.00
Julio	384.00	26.53	24.69	20.00
Agosto	371.00	24.06	25.29	20.00
Septiembre	310.00	18.90	23.10	19.00
Octubre	272.00	14.07	19.11	16.00
Noviembre	229.00	10.20	15.14	14.00
Diciembre	214.00	8.43	12.60	12.00

Obstáculos en el horizonte:

Orientación	Altura angular del obstáculo [°]
N - NNE	0.00

NNE - NO	0.00
NO - ENE	0.00
ENE - E	0.00
E - ESE	0.00
ESE - SE	0.00
SE - SSE	0.00
SSE - S	0.00
S - SSO	0.00
SSO - SO	0.00
SO - OSO	0.00
OSO - O	0.00
O - ONO	0.00
ONO - NO	0.00
NO - NNO	0.00
NNO - N	0.00

- DEMANDA

Temperatura de referencia para definir la demanda de ACS: 60.00 [°C]

Demandas de referencia:

Vivienda TIPO	Numero de viviendas	Demanda [litros/dia·viv]	Perfil diario	Perfil mensual
A	14.00	112.00	FCHART	DTIE
B	0.00	66.00	Tarde	DTIE
C	0.00	88.00	Mañana	DTIE
D	0.00	88.00	Tarde	DTIE

Demanda térmica mensual de agua caliente sanitaria:

Mes	Viviendas A [kWh]	Viviendas B [kWh]	Viviendas C [kWh]	Viviendas D [kWh]	Total [kWh]
Enero	2993.22	0.00	0.00	0.00	2993.22
Febrero	2645.79	0.00	0.00	0.00	2645.79
Marzo	2735.54	0.00	0.00	0.00	2735.54
Abril	2716.66	0.00	0.00	0.00	2716.66
Mayo	2560.88	0.00	0.00	0.00	2560.88
Junio	2342.57	0.00	0.00	0.00	2342.57
Julio	2034.16	0.00	0.00	0.00	2034.16
Agosto	1785.70	0.00	0.00	0.00	1785.70
Septiembre	2040.28	0.00	0.00	0.00	2040.28
Octubre	2337.20	0.00	0.00	0.00	2337.20
Noviembre	2616.11	0.00	0.00	0.00	2616.11
Diciembre	2902.22	0.00	0.00	0.00	2902.22

- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN SIMULADA

Área total de captación: 30.88 [m²]

Conexionado de los captadores: Paralelo

Inclinación con respecto a la horizontal: 50.00 [°]

Orientación con respecto al sur: 0.00 [°]

Rendimiento óptico del captador a incidencia normal: 0.75 [%/100]

Término lineal de pérdidas: 4.33 [W/m²·K]

Término cuadrático de pérdidas: 0.03 [W/m²·K²]

Fluido primario: agua (Cp = 4.18 [kJ/kg·K])

Flujo másico bomba del primario: 639.83 [litros/h]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de las tuberías del primario: 2.50 [W/m²·K]

Temperatura de sobrecalentamiento: 110.00 [°C]

Potencia nominal del intercambiador de calor: 15440.00 [W]

Diferencia de temperatura logarítmica media (DTLM) en condiciones nominales: 19.20 [°C]

Efectividad del intercambiador de calor en condiciones de operación (calculada): 0.52

Fluido secundario: agua (Cp=4.185 kJ/kg·K)

Flujo másico bomba del secundario: 639.83 [litros/hora]

Volumen total de acumulación: 1999.79 [litros]

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías del secundario: 2.50 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas del acumulador: 1.93 [W/m²·K]

Temperatura de consigna del sistema de apoyo: 60.00 [°C]

Rendimiento (ó COP) del sistema de apoyo: 100.00 [%]

Valor promedio del coeficiente global de pérdidas de la red de distribución (montantes+derivaciones): 0.00 [W/m²·K]

Coeficiente global de pérdidas de los montantes: 0.00 [W/m²·K]

Número de montantes: 1

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo A: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo A: 14.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo B: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo B: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo C: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo C: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las derivaciones tipo D: 0.00 [W/m²·K]

Número de derivaciones tipo D: 0.00

Coeficiente global de pérdidas de las tuberías de recirculación: 0.00 [W/m²·K]

Flujo de la bomba de recirculación: 0.00 [litros/h]

La recirculación se realiza sobre: Sistema auxiliar

Diferenciales de temperatura para el control de las bombas: encendido 7.00 [°C] y apagado 2.00 [°C]

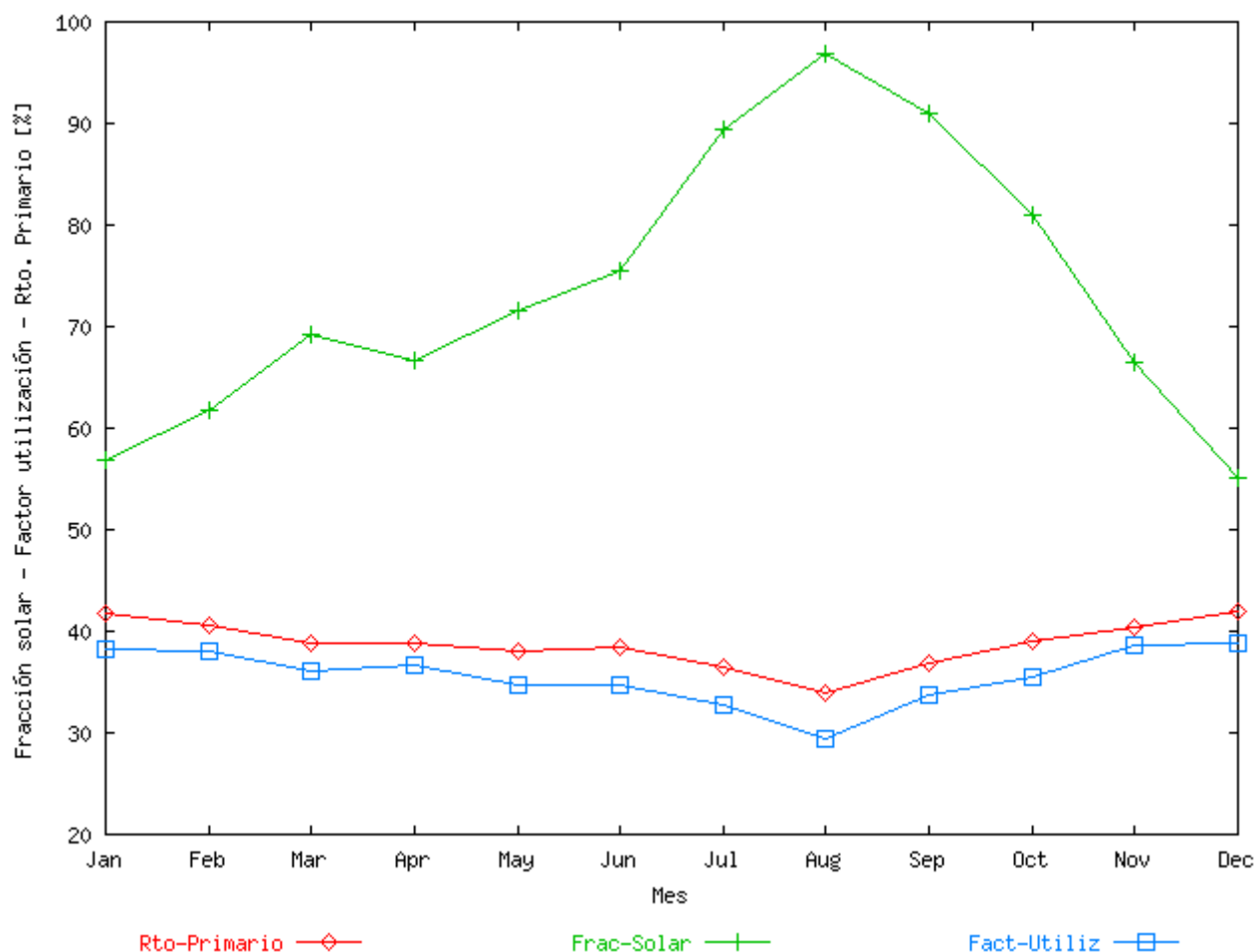
Temperatura máxima permitida en el acumulador: 80.00 [°C]

Prestaciones globales

Mes	Fracción solar [%]	Rendimiento primario [%]	Factor utilización [%]	Horas de funcionamiento primario [h]	Horas en sobrecalentamiento (Tcol >110°C) [h]	Pérdidas radiación TOTAL [%]	Pérdidas inclinación y orientación [%]	Pérdidas obstáculos [%]
AÑO	68.18	36.09	33.65	3119.00	0.00	3.51	3.51	0.00
Enero	53.47	38.88	35.91	248.50	0.00	-6.73	-6.73	0.00
Febrero	58.04	37.85	35.87	228.00	0.00	-3.06	-3.06	0.00
Marzo	65.15	36.12	34.06	266.50	0.00	1.15	1.15	0.00
Abril	63.13	36.37	34.71	264.00	0.00	6.12	6.12	0.00
Mayo	68.18	35.67	32.97	281.50	0.00	10.66	10.66	0.00
Junio	72.05	35.94	33.10	273.00	0.00	12.77	12.77	0.00
Julio	86.17	34.29	31.62	276.00	0.00	12.21	12.21	0.00
Agosto	95.19	32.20	28.93	275.50	0.00	8.31	8.31	0.00
Septiembre	87.82	34.84	32.48	263.50	0.00	3.03	3.03	0.00
Octubre	77.18	36.50	33.83	262.00	0.00	-2.13	-2.13	0.00

Noviembre	62.44	37.58	36.29	245.00	0.00	-5.90	-5.90	0.00
Diciembre	51.91	39.04	36.57	235.50	0.00	-7.22	-7.22	0.00

Número de horas de funcionamiento de la bomba del secundario = 3119.00



Consumo eléctrico/combustible y emisiones de CO₂ estimadas

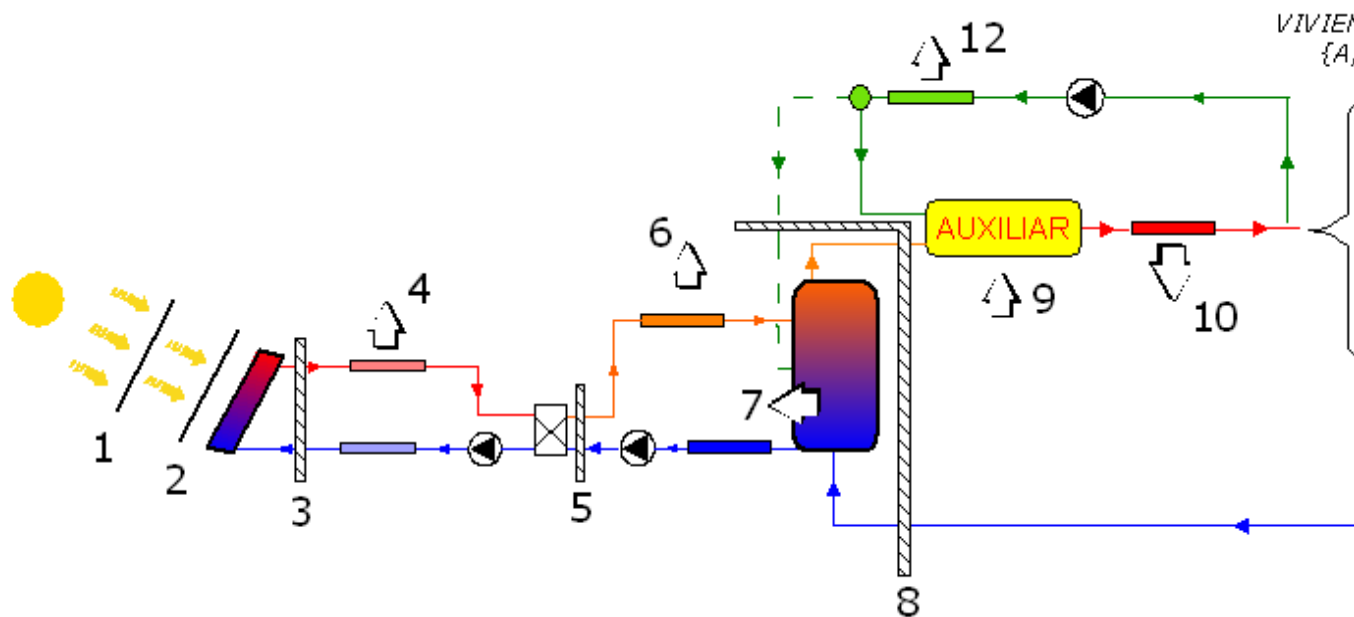
Coeficiente de conversión para la electricidad consumida por las bombas = 649.00 [grCO₂/kWh]

Coeficiente de conversión consumo equipo = 649.00 [grCO₂/kWh eléctrico] ó [grCO₂/kWh térmico]

Mes	Consumo eléctrico bomba primario [kWh]	Consumo eléctrico bomba secundario [kWh]	Consumo eléctrico bomba recirculación [kWh]	Consumo (eléctrico o térmico) equipo	Emisiones totales SIN instalación solar [Tm]	Emisiones totales CON instalación solar [Tm]	Emisiones de CO ₂ evitadas [Toneladas]
-----	--	--	---	--------------------------------------	--	--	---

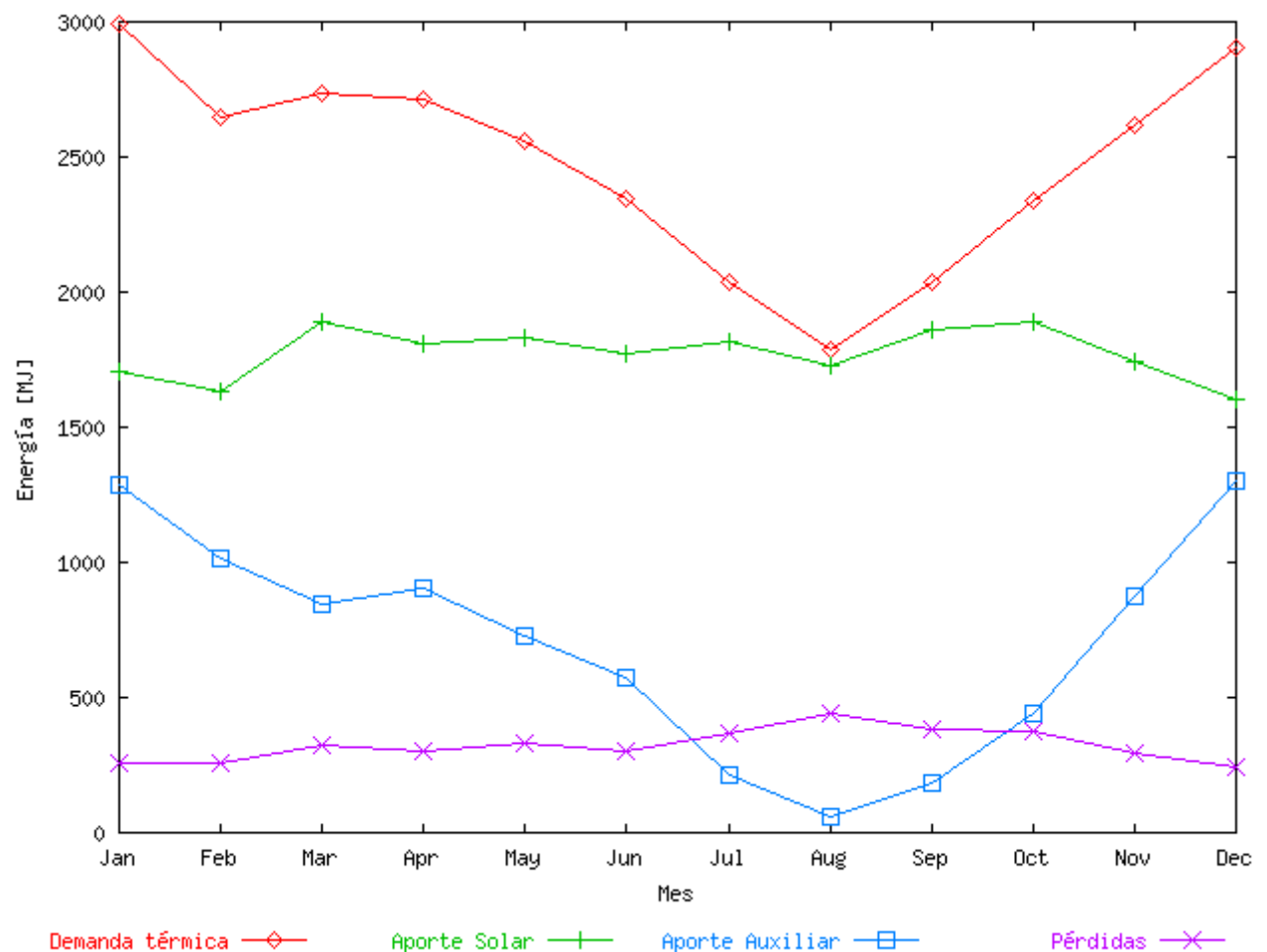
				auxiliar [kWh]			
AÑO	59.26	59.26	0.00	9458.71	19.28	6.22	13.07
Enero	4.72	4.72	0.00	1393.00	1.94	0.91	1.03
Febrero	4.33	4.33	0.00	1110.42	1.72	0.73	0.99
Marzo	5.06	5.06	0.00	953.72	1.78	0.63	1.15
Abril	5.02	5.02	0.00	1001.96	1.76	0.66	1.11
Mayo	5.35	5.35	0.00	815.25	1.66	0.54	1.13
Junio	5.19	5.19	0.00	655.12	1.52	0.43	1.09
Julio	5.24	5.24	0.00	281.74	1.32	0.19	1.13
Agosto	5.23	5.23	0.00	86.19	1.16	0.06	1.10
Septiembre	5.01	5.01	0.00	248.81	1.32	0.17	1.16
Octubre	4.98	4.98	0.00	533.62	1.52	0.35	1.16
Noviembre	4.66	4.66	0.00	982.81	1.70	0.64	1.05
Diciembre	4.47	4.47	0.00	1396.06	1.88	0.91	0.97

Intercambios de energía



La siguiente tabla muestra el balance de energía global del sistema y cómo se distribuyen las ganancias (aportes solar y auxiliar) entre la demanda y las diferentes pérdidas. Las dos primeras casillas de la columna reparto (fondo azul) suman 100% y le informan de la procedencia de las ganancias. Las restantes (fondo amarillo) también suman 100% y describen a qué se han destinado las ganancias.

FLUJO		Energía [kWh]	Reparto [%]
GANANCIAS	(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	23535.09	71.33
	(9) Energía térmica cedida por el sistema auxiliar	9458.71	28.67
DEMANDA	(11) Demanda térmica de A.C.S.	29710.34	90.28
PÉRDIDAS	(4) Pérdidas en las tuberías del campo	1743.75	5.30
	(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	439.82	1.34
	(7) Pérdidas del acumulador solar	1016.91	3.09
	(10) Pérdidas en la distribución (montantes + derivaciones)	0.00	0.00
	(12) Pérdidas en las tuberías de recirculación	0.00	0.00



La siguiente tabla recoge todos los flujos de energía que aparecen en el esquema anterior:

FLUJO	Energía [kWh]
(1) Radiación incidente sobre orientación óptima	62381.39
(2) Radiación final sobre captadores (tras descontar las pérdidas por orientación y sombras)	60192.06
(3) Energía cedida por los captadores al fluido primario	23535.09
(4) Pérdidas en las tuberías del primario	1743.75
(5) Energía transferida en el intercambiador de calor primario	21722.01
(6) Pérdidas en las tuberías del secundario	439.82
(7) Pérdidas del acumulador solar	1016.91
(8) Energía neta extraída del acumulador solar	20255.43
(9) Energía cedida por el sistema auxiliar al fluido	9458.71
(9,bis) Energía consumida por el sistema auxiliar	9458.71
(10) Pérdidas en la red de distribución (montantes + derivaciones)	0.00
(11) Demanda térmica de A.C.S.	29710.34
(12) Pérdidas en la red de recirculación	0.00
DETALLES POR TIPO DE USUARIO	
(11a) Demanda térmica de los usuarios tipo A	29710.34
(11b) Demanda térmica de los usuarios tipo B	0.00
(11c) Demanda térmica de los usuarios tipo C	0.00
(11d) Demanda térmica de los usuarios tipo D	0.00

Balance de energía de la simulación

Paso de tiempo de simulación: 0.50 [horas]

Cierre del balance de energía [%]:

Mes	Descuadre [%]
AÑO	0.087
Enero	0.030
Febrero	0.013
Marzo	0.038
Abril	0.046

Mayo	0.092
Junio	0.135
Julio	0.247
Agosto	0.347
Septiembre	0.237
Octubre	0.112
Noviembre	0.015
Diciembre	0.025

Si el descuadre en el balance de energía es apreciable (alguna casilla >5%), debe tratar de mejorarlo utilizando tolerancias más estrictas y/o menor paso de tiempo de simulación (véase la pantalla "simulación" y el manual de ayuda del programa)